

621.3
С-409

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ГОДНИК 1969

**ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СИСТЕМ:
ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ**

**ПРИЛОЖЕНИЯ
СИСТЕМНОГО ПОДХОДА**

Институт
я и тех -
нает вы -
системные
вом вы -
ализиру -
ы общей
ые под -
кой тео -
логико -
рат си -
а также
их мето -
ологии и
ирической

USSR ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE FOR THE HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

**SYSTEMS
RESEARCH**

YEARBOOK

1969



PUBLISHING HOUSE «NAUKA»

MOSCOW 1969

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

**СИСТЕМНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

ЕЖЕГОДНИК

1969



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1969

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

И. В. БЛАУБЕРГ, О. Я. ГЕЛЬМАН, В. П. ЗИНЧЕНКО,
Ю. А. ЛЕВАДА, А. А. ЛЯПУНОВ, А. А. МАЛИНОВСКИЙ,
С. Р. МИКУЛИНСКИЙ, А. М. МОЛЧАНОВ, Д. А. ПОСПЕЛОВ,
В. Н. САДОВСКИЙ, А. И. УЕЛОВ, К. М. ХАЙЛОВ,
Э. Г. ЮДИН

ПРЕДИСЛОВИЕ

Подход к объектам исследования как к системам выражает одну из главных особенностей современного научного познания. Между тем в отечественной литературе до последнего времени проблематика системных исследований освещалась лишь в отдельных статьях и сборниках тезисов. Предлагаемой вниманию читателей книгой Институт истории естествознания и техники АН СССР начинается выпуск ежегодника, задачи которого состоят в постановке проблем и изложении результатов логико-методологических и специально-научных разработок системного подхода.

Еще несколько лет назад системные исследования в нашей стране составляли предмет интересов сравнительно небольшого числа биологов, логиков, философов, экономистов, представителей кибернетики, технических и некоторых других научных дисциплин. Теперь различные аспекты системного подхода разрабатываются в специальных исследовательских группах и организациях в Институте истории естествознания и техники АН СССР, Одесском университете, Институте философии АН СССР и других научных учреждениях. Значительно возрос интерес к теоретико-системной проблематике со стороны тех работников науки, которые по характеру решаемых ими задач занимаются вопросами логики и методологии научного исследования.

Все это не только служит признанием растущей важности системного подхода в современной науке, но и требует гораздо более глубокого и систематического освещения соответствующей проблематики в научной литературе. Первый выпуск ежегодника можно рассматривать как одну из попыток в этом направлении. Его авторы — биологи, логики, математики, философы — стремятся сформулировать те специфические проблемы и трудности, в которые упирается развитие системных исследований, и наметить пути решения этих проблем. История и современное состояние системного подхода показывают, что в ближайшие годы вряд ли можно рассчитывать на создание единой концепции, которая могла бы выполнить функции *общей теории систем* в строгом смысле этого понятия. Такую теорию не удается построить «с ходу», как не удалось создать и всеохватывающей теоретической

концепции в кибернетике, которая разделялась бы всеми ее представителями. Это заставляет умерить излишний оптимизм и отказаться от попыток немедленных радикальных переворотов в формах и методах научного мышления. Неизбежность таких переворотов несомненна, но их реализация требует гораздо более кропотливой и тщательной подготовки. Поэтому основные усилия сейчас должны быть направлены на выявление и анализ многообразных конкретных проблем, выдвигаемых практикой системных исследований. Именно таков замысел авторов этой книги, которые во многих теоретических вопросах занимают разные, а порой и противоположные позиции, но которые едины в убеждении, что зерна системного подхода могут дать жизнеспособные всходы лишь на хорошо подготовленной почве.

Советские исследователи — и это вполне понятно — стремятся разрабатывать проблематику системного подхода с позиций методологии диалектического материализма, основоположники которого дали первые образцы теоретического анализа сложных развивающихся объектов. Богатые традиции в этом отношении имеет и отечественная наука, многие представители которой внесли заметный вклад в разработку принципов системного исследования как в общетеоретической, так и в специально научных сферах знания.

Наряду с работами советских исследователей в книгу включены статьи нескольких зарубежных ученых, внесших крупный вклад в развитие системных исследований. Эти статьи позволят советскому читателю создать представление о состоянии и основных направлениях разработки системного подхода за рубежом и вместе с тем подчеркивают интернациональный характер современных системных исследований. В этой связи редколлегия ежегодника пользуется случаем, чтобы выразить признательность зарубежным ученым за их любезное согласие предоставить свои работы и за специальную подготовку этих работ для публикации на русском языке.

ЗАДАЧИ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ И ЕЕ ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СИСТЕМ

И. В. БЛАУБЕРГ, В. Н. САДОВСКИЙ, Э. Г. ЮДИН

В последние 20—30 лет в научном знании все большее значение стали приобретать системные исследования и проблематика общей теории систем. Легко установить три основные причины, приведшие к такому положению. Во-первых, большинство традиционных научных дисциплин, таких, как биология, психология, лингвистика, социология, логика и т. д., в последнее время существенно трансформировали предметы своего рассмотрения, в качестве которых теперь, как правило, выступают множества взаимосвязанных элементов, представляющих собой целостные образования (системы и структуры). Во-вторых, технический прогресс в середине XX в., широкое внедрение принципов автоматизации в технику привели к тому, что главными объектами современного технического проектирования и конструирования оказались системы управления (большие системы), которые и по своей структуре и по процессу их создания выступают как типичные образцы системных объектов (следует отметить в этой связи также возникновение целого комплекса новых дисциплин, таких, как кибернетика, теория информации, бионика, теории распознавания образов и эвристического программирования и т. д., основные задачи которых состоят в исследовании систем разного типа). Наконец, в-третьих, осознание факта широкого внедрения в современную науку и технику задач системного анализа и связанных с этим методологических трудностей привело к возникновению ряда обобщенных концепций, стремящихся построить «общую теорию систем», «системную науку», «методологию системного анализа», и т. д.

Указанные обстоятельства обусловили то, что задача исследования и конструирования систем и структур различных типов выступает в качестве одной из основных в современной науке и технике. Естественно, что методология и логика науки не могут пройти мимо этого нового объекта научного анализа. И если на IX Международном философском конгрессе в 1937 г. выступление Л. фон Берталанфи, посвященное этим проблемам [1], фактически осталось без внимания, то через двадцать лет, в 1958 г., в своем выступлении на XII Международном философском конгрессе [2] он смог подвести определенные итоги разработки «общей теории систем» в ее различных вариантах.

1. Организация системных исследований

Системное движение как оформившееся направление современных научно-технических исследований — продукт нескольких последних десятилетий. Сегодня существует еще большое разнообразие как в понимании принципов системного подхода и статуса общей теории систем, так даже в истолковании исходных понятий этого направления исследований, — таких, как «система», «структура», «связь» и т. д. В этих условиях рассмотрение истории и организации системных исследований может способствовать внесению ясности в проблемы системного анализа.

Предварительно, однако, скажем, что под *системными исследованиями* мы будем понимать в дальнейшем всю совокупность научных и технических проблем, которые при всей их специфике и разнообразии сходны в понимании и рассмотрении исследуемых ими объектов как систем, т. е. как множеств взаимосвязанных элементов, выступающих как единое целое. Соответственно этому *системный подход* определяется нами как эксплицитное выражение процедур представления объектов как систем и способов их исследования (описания, объяснения, предвидения, конструирования и т. д.). Наконец, *общую теорию систем* мы будем понимать как междисциплинарную область научных исследований, в задачи которой входит: 1) разработка обобщенных моделей систем; 2) построение логико-методологического аппарата описания функционирования и поведения системных объектов; 3) создание обобщенных теорий систем разного типа, включая теории динамики систем, их целенаправленного поведения, исторического развития, иерархического строения систем, процессов управления в системах и т. д.

В самом общем виде целесообразно выделить три основных этапа развития проблематики общей теории систем:

1) *Непосредственные предшественники* (конец XIX — первая треть XX в.), из которых наибольший интерес представляют различные варианты организмических концепций, теория интегративных уровней (Г. Ч. Браун, Р. В. Селларс, А. Б. Новиков) и всеобщая организационная наука А. А. Богданова.

2) Концепция «общей теории систем» Л. фон Берталанфи (40—50-е годы XX в.), для которой характерны явно выраженный интерес к общемировоззренческим аспектам общей теории систем, ориентация на биологию, принцип изоморфизма законов, положенный в основание концепции, и использование достаточно ограниченного математического аппарата.

3) Современная стадия разработки, представленная рядом конкурирующих вариантов общесистемного подхода (Л. фон Берталанфи, М. Месарович, Р. Акоф, У. Росс Эшби, Л. Заде, О. Ланге, Г. Грениевский, А. А. Зиновьев, А. И. Уемов и др.). Согласно в понимании общих задач теории систем, названные авторы существенно различаются в характеристике путей построения этой концепции, в преимущественной ориентации на различные предметные области, в используемом логико-математическом аппарате.

Из сказанного, в частности, следует, что о собственно организации системного движения мы можем говорить лишь после второй мировой войны. Первым шагом в этом направлении явилось создание в 1954 г. в США «Общества исследований в области общей теории систем» («Society for General Systems Research»), возникшего в значительной степени в результате научной и организационной деятельности Л. фон Берталанфи.

Л. фон Берталанфи еще в конце 20-х — начале 30-х годов в ходе теоретической борьбы с механицизмом и витализмом сформулировал ряд принципов исследования живых объектов как открытых систем, т. е. как целостных множеств взаимосвязанных элементов, находящихся в процессе непрерывного обмена с внешней средой веществом и энергией. В 30-е же годы в своих устных выступлениях он произвел обобщение этой концепции, сформулировав задачу построения «общей теории систем» — междисциплинарной научной области, ставящей своей целью разработку принципов исследования систем любого рода и любой сложности. Однако, как об этом писал позже сам Берталанфи, интеллектуальный климат в науке того периода (неприятное и даже враждебное отношение к теоретическим исследованиям, обобщенному анализу объектов и т. д.) не способствовал благосклонному приему этих идей, и Берталанфи отложил публикацию материалов по общей теории систем до лучших времен (см. [3]).

Послевоенное время принесло с собой важные изменения в теоретически-методологической ориентации научных исследований. Возникновение кибернетики и целого комплекса связанных с нею наук, успешные приложения многих сугубо абстрактных математических построений к анализу реального мира существенно повысили ценность теории и обобщений в науке. И не удивительно, что первые публикации Берталанфи по общей теории систем ([4] и др.) встретили весьма заинтересованное отношение со стороны научного мира.

В этой обстановке в 1954 г. на годовичном собрании «Американской ассоциации развития науки» («American Association for the Advancement of Science») и было создано «Общество исследований в области общей теории систем». Его членами-учредителями были Л. фон Берталанфи, известный философ, психолог и специалист по математической биофизике А. Рапопорт, экономист К. Боулдинг и биолог Р. Жерар. Общество поставило перед собой следующие цели: 1) исследование изоморфизмов понятий, законов и моделей в различных областях науки для их переноса из одной дисциплины в другую; 2) способствование построению адекватных теоретических моделей для тех областей науки, в которых они отсутствуют; 3) минимизация дублирования теоретических исследований в различных научных областях; 4) содействие выявлению единства науки путем установления связей между специалистами различных наук*.

Начиная с 1956 г. «Общество исследований в области общей теории систем» издает под редакцией Л. Берталанфи и А. Рапопорта ежегодник «General Systems» [15]. В 1968 г. вышел тринадцатый том ежегодника. В ежегоднике публикуются исследования, посвященные как анализу принципов и методов системного подхода, так и конкретным разработкам применения теории систем к проблемам биологии, социологии, кибернетики, психологии, международных отношений и т. д., в том числе и работы ряда советских авторов**.

Важной формой работы Общества являются ежегодные собрания, посвященные, как правило, обсуждению той или иной проблемы системного подхода. Так, на десятом годовичном собрании, проходившем в декабре 1964 г. в Монреале и собравшем более 125 участников, обсуждению было подвергнуто понятие положительной обратной связи, его применение в процессах регуляции человеческого организма, в экологических, экономических, политических и т. д. системах. Программа двенадцатого годовичного собрания Общества (Вашингтон, 26—30 декабря 1966 г.) предусматривала обсуждение следующих тем: применение общей теории систем к международным связям, динамика промышленных и экономических систем, взаимодействие и изменение систем (где, в частности, выступили Л. Слободкин с докладом «Цели и эволюция» и Д. де Солла Прайс, один из ведущих специалистов в области «науки о науке», с докладом «Невидимые колледжи»), а также проведение симпозиума по проблемам символизма (с докладом «Символизм и общая теория систем» Л. фон Берталанфи). Двенадцатое годовичное собрание общества проходило под председательством вид-

* Подробнее о создании «Общества исследований в области общей теории систем» см. в публикуемой в настоящем выпуске статье Л. фон Берталанфи.

** Издательство «Прогресс» в 1969 г. выпускает сборник переводов «Исследования по общей теории систем», куда включены важнейшие работы из первых двенадцати томов «General Systems».

ного современного американского логика П. Коуса, который в своей президентской речи рассмотрел вопрос о единстве и различии научного знания.

Научная и организационная деятельность «Общества исследований в области общей теории систем» чрезвычайно удачно соответствует основным тенденциям развития послевоенной науки — ее кибернетизации, дальнейшей математизации и т. д. Техника в последние двадцать—тридцать лет также оказалась существенно заинтересованной в разработке системной проблематики — ведь ее основными объектами исследования и конструирования стали сложные системы управления. Поэтому не удивительно, что в 50-е годы в ряде стран возникли многочисленные научно-исследовательские системные группы. Такие группы, как правило, преследуют сугубо практические задачи, в частности, решение конкретных проблем системотехники. В США наиболее мощные из них работают в рамках «RAND Corporation», «Systems Development Corporation» и др. Американский институт радиоинженеров (IEEE) начал выпускать с 1965 г. под редакцией А. Холла, видного специалиста по системотехнике, непериодическое издание «IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics». Цель этого издания — дать анализ широкого класса проблем системной науки и кибернетики, причем если, по мнению его издателей, системную науку проблемы систем интересуют с точки зрения оптимизации, то кибернетика исследует те же самые системы в терминах реальных или концептуальных моделей. Вышедшие к настоящему времени номера «Systems Science and Cybernetics» посвящены главным образом обсуждению конкретных системотехнических проблем и вопросам математического обоснования теории систем.

При всей актуальности разработки специальных проблем внедрения системных идей в технику и в различные научные дисциплины задача теоретического освещения системного подхода не перестает быть весьма насущной. В США наряду с «Обществом исследований в области общей теории систем» такую работу проводит «Центр системных исследований» («Systems Research Center»), созданный в 1959 г. при Кейсовском технологическом институте (ныне Case Western Reserve University). Ведущими деятелями этого Центра являются основатель и бывший директор Центра Д. Экман (погиб в мае 1962 г.), нынешний директор М. Месарович — специалист в области математики и вычислительной техники, Р. Акоф — один из создателей метода исследования операций, Д. Флеминг, Р. Бенерджи, И. Лефковиц и др.

Кейсовский системный центр поставил перед собой задачу стимулирования и координации исследований в области системной науки, системотехники и математической теории систем, а также подготовку кадров по этим областям науки. В последние годы основное внимание участники Центра уделяют проблемам теории

систем (принятие решений, многоуровневые многоцелевые системы), некоторым вопросам системотехники (моделирование системных процессов, программированные языки для моделирования и управления с помощью вычислительной техники и т. д.), а также разработке приложения теории систем к биологии.

Об объеме ведущихся в Кейсовском «Центре системных исследований» научно-исследовательских работ можно судить по периодически выпускаемым этой группой «Research Abstracts». Так, в последнем выпуске «Research Abstracts», датированном декабром 1967 г., даны краткие аннотации 109 работ, которые проводятся в настоящее время в Центре, приведен список более 250 публикаций, сделанных сотрудниками Центра за время его существования, и названы темы 130 ротапринтных отчетов, выпущенных за это время. Центр подготовил за период 1961—1967 гг. более 120 специалистов по различным разделам системной науки (см. [5]).

Кейсовский Центр периодически проводит симпозиумы с обсуждением актуальных проблем системных исследований и общей теории систем. К настоящему времени состоялось четыре таких симпозиума: первый (апрель 1960 г.) [6], второй (1963 г.), основные материалы которого изданы в русском переводе [7], третий (октябрь 1966 г.), посвященный обсуждению проблем системного подхода в биологии [8], и четвертый (ноябрь 1968 г.) — по методам решения задач на вычислительных машинах. Наконец, следует еще упомянуть недавно начавший издаваться журнал «Mathematical Systems Theory» (Springer-Verlag, N. Y.).

В настоящей статье мы, естественно, не ставим перед собой задачу подробно охарактеризовать организационную и научно-исследовательскую деятельность многочисленных системных групп в Америке и Европе. Нам важно было на примерах деятельности «Общества исследований в области общей теории систем» и «Центра системных исследований» выявить наиболее характерные тенденции разработки системной проблематики в настоящее время. Для того чтобы выполнить эту задачу полнее, необходимо еще остановиться на развитии системного подхода в Советском Союзе.

Советские исследователи опираются на богатую традицию системного подхода. Тектология А. А. Богданова и теоретическая биология 20—30-х годов, физиология активности Н. А. Бернштейна и культурно-исторический подход в психологии Л. С. Выготского, широкий фронт кибернетических исследований в послевоенное время, работы И. И. Шмальгаузена и многих других — вот далеко не полный перечень теоретических истоков современных системных исследований в СССР. С конца 50-х годов во многих периодических и непериодических изданиях («Вопросы философии», «Журнал общей биологии», «Проблемы кибернетики» и др.) системной проблематике стали уделять значительное внимание. Постепенно сложились научно-исследовательские центры, занимающиеся исследованием этих вопросов. Имея в виду прежде

всего теоретическую разработку системного подхода, в этой связи можно назвать системные группы и лаборатории в Одесском университете, Институте кибернетики АН ГрузССР, Институте истории естествознания и техники АН ССРСР, Институтах философии АН СССР и АН УССР, в научных учреждениях Севастополя, Новосибирска, Ленинграда и других городов.

Советскими исследователями подвергается анализу большой комплекс системных проблем. Для примера назовем разработку специфически методологических проблем системного подхода; анализ понятий «система», «структура», «связь»; исследование истории становления системного подхода, в частности применительно к биологии, психологии, социологии; построение теоретической биологии на основе системных принципов; создание логико-математического аппарата описания системных объектов; анализ конфликтующих систем и процессов рефлексивного управления в системах; разнообразные кибернетические и системотехнические подходы к исследованию систем и т.д. Известным показателем уровня развития системных исследований в Советском Союзе могут быть состоявшиеся в последнее время научные конференции с обсуждением системных проблем — например, в Одессе на симпозиуме по логике науки (сентябрь 1966 г.) [9], в Тбилиси на III симпозиуме по кибернетике (июнь 1967 г.) [10], в Московском государственном университете (март 1968 г.) [11] и др. (см. [12][13][14]).

Все это убедительно показывает широкий размах системных исследований в современной науке и технике. Для более четкого понимания их специфики обратимся теперь к анализу «общей теории систем» Л. фон Берталанфи — первого варианта общесистемной концепции, с тем чтобы впоследствии рассмотреть основные подразделения системных исследований и наметить типологию подходов к построению теории систем.

2. «Общая теория систем» Людвиг фон Берталанфи: основные принципы и результаты

Нам нет необходимости подробно описывать цели и методы «общей теории систем» Берталанфи — соответствующая задача с блеском выполнена в ряде работ самого Берталанфи (в том числе и в публикуемой в данном выпуске его статье), а также в статьях К. Боулдинга, А. Рапопорта и др. [15, v. I] [15, v. VII] [16].

Основные линии построения «общей теории систем» Берталанфи можно рассматривать как попытку конкретизации и развития, с одной стороны, разработанных им в 20-х и 30-х годах организмической концепции и «теории открытых систем», а с другой — как реализацию предложенной У. Уивером, одним из создателей теории информации, концепции развития предметов научного анализа. С точки зрения У. Уивера, можно выделить три этапа усложнения предметов научного анализа: на первом рассматривалась

организованная простота (мир классической механики), на втором — беспорядочная сложность (мир классической статистической физики) и на третьем, в который вступила наука XX в., — организованная сложность.

Опираясь на Уивера, Берталанфи выделяет следующие особенности науки XX в.: 1) ее предмет — *организация* (биологические, социальные, кибернетические и т. д. системы); 2) для анализа этого предмета необходимо найти средства решения *проблем со многими переменными* (классическая наука не вышла за рамки решения *проблем с двумя переменными*, в лучшем случае — с несколькими переменными); 3) на место механистического понимания мира, сводящего органический мир к случайным и стихийным изменениям физических тел и т. д., выдвигается понимание мира как *множества разнородных* и не сводимых одна к другой *сфер реальности*, связь между которыми проявляется в изоморфизме действующих в них законов; 4) концепцию редукционизма, сводящего всякое знание к физическому, сменяет идея *перспективизма* — возможность построения единой науки на базе изоморфизма законов в различных областях [15, в. VII, р. 1—4].

Приведенное описание специфических черт системно-структурного анализа, данное Берталанфи, дополняется разработкой конкретного аппарата, способного, по мнению Берталанфи, адекватно описывать функционирование систем. Только учет этих двух моментов даст нам возможность оценить, насколько глубоко осознается в «общей теории систем» принципиальная особенность исследования систем и структур.

Берталанфи проводит различие между *закрытыми* системами (в них не поступает и из них не выделяется вещество; учитывается лишь возможность обмена энергией) и системами *открытыми*, в которых постоянно происходит ввод и вывод как энергии, так и вещества. Его предметом исследования являются системы последнего типа, но при этом, как правильно отмечает А. Рапопорт [16], достаточно строгое определение дается лишь понятию «закрытая система», а открытая система определена просто как нечто дополнительное по отношению к закрытой. Этот момент весьма характерен: определить понятие нельзя, если ограничиваться интуитивно схватываемым содержанием; необходим аппарат, способный выразить это содержание и тем самым уточнить его. Но такого развернутого аппарата не удалось построить в «общей теории систем» Берталанфи.

Действительно, Берталанфи фактически использует лишь аппарат описания так называемых *эквифинальных* систем — систем, которые способны достигать заранее определенного конечного состояния независимо от изменения начальных условий, т. е. из различных начальных состояний и различными путями. Поведение таких систем описывается телеологическими уравнениями, в которые включены параметры конечного состояния соответствующего

щих открытых систем, а характеристика поведения системы в каждый момент времени дается как отклонение от конечного состояния, к которому система как бы «стремится».

Не подлежит сомнению; что таким образом можно анализировать достаточно широкий класс систем. Но вместе с тем необходимо отчетливо сознавать, что: 1) эквивиальные системы представляют собой лишь подкласс класса открытых систем; 2) использование телеологических уравнений ограничивает системно-структурный анализ исследованием лишь некоторых *внешних* параметров систем.

В результате можно сделать вывод о существовании у Берталанфи определенного несоответствия между интуитивно понимаемым *содержанием задач системно-структурного анализа* и тем *реальным аппаратом*, который используется для решения данных задач.

Впрочем, и сам создатель «общей теории систем» и его сотрудники осознают имеющиеся здесь трудности. Характерна в этом отношении точка зрения Л. фон Берталанфи на задачи и содержание «общей теории систем», изложенная им в 1962 г. [15, v. VII]. Возникновение кибернетики и целого ряда связанных с нею дисциплин привело Берталанфи к необходимости выделения двух смыслов «общей теории систем».

В широком смысле «общая теория систем» выступает у Берталанфи как основополагающая, фундаментальная наука, охватывающая всю совокупность проблем, связанных с исследованием и конструированием систем. В теоретическую часть этой науки включаются: 1) кибернетика, которая базируется на принципе обратной связи и круговых причинных цепях и исследует механизмы целенаправленного и самоконтролируемого поведения; 2) теория информации, вводящая понятие количества информации и развивающая принципы передачи информации; 3) теория игр; 4) теория решений; 5) топология, включающая теорию сетей и теорию графов; 6) факториальный анализ; 7) общая теория систем в узком смысле, которая стремится вывести из общего определения системы как комплекса взаимодействующих элементов понятия, относящиеся к организованным целым (взаимодействие, сумма, централизация, финальность и т. д.), и применяет их к анализу конкретных явлений. Прикладная область «общей теории систем» включает, согласно Берталанфи: 1) системотехнику, 2) исследование операций, 3) инженерную психологию [15, v. VII, p. 3—4].

«Общая теория систем», таким образом, выступает в этом случае как обширный комплекс научных дисциплин. Следует, однако, отметить, что при таком истолковании в известной мере теряется определенность задач теории систем и ее содержания. Строго научной концепцией (с соответствующим аппаратом, средствами и т. д.) можно считать лишь «общую теорию систем» в узком смысле. Что же касается «общей теории систем» в широком смысле, то она или

совпадает с «общей теорией систем» в узком смысле (один аппарат, одни исследовательские средства и т. д.), или представляет собой действительное расширение и обобщение «общей теории систем» в узком смысле и аналогичных дисциплин, однако тогда встает вопрос о развернутом представлении ее средств, методов, аппарата и т. д. Без ответа на этот вопрос «общая теория систем» в широком смысле фактически остается лишь некоторым проектом (пусть даже очень заманчивым) и вряд ли может быть развита в строгую научную теорию.

Для понимания теоретико-системных идей Берталанфи и путей эволюции его концепции немаловажное значение имеет его статья, публикуемая в настоящем выпуске. В ней Берталанфи, опираясь в значительной степени на только что рассмотренную нами его работу 1962 г. [15, в. VII], формулирует задачи общей теории систем, состоящие, по сути дела, в замене механистического мировоззрения организмическим, и перечисляет, как и в работе 1962 г., целый ряд частных системных подходов, реализующих, по его мнению, тот или иной аспект системных исследований. Характерно при этом, что некоторые из этих частных подходов, например кибернетика, теория автоматов и другие, понимаются им как определенные системные концепции и одновременно как по сути дела не выходящие за рамки механистической точки зрения.

Подобный синкретизм, как нам представляется, выражает существенную сторону современного этапа развития системных исследований, и взгляды Берталанфи на этот счет чрезвычайно показательны. Системное движение по своим задачам действительно призвано выработать новое — в противовес механистическому — «видение» мира, разработать принципы нового направления научных и технических исследований. И, как таковое, оно, несомненно, должно включать в себя совокупность принципиально различных по своему типу разработок — философских, логико-методологических, математических, модельных, эмпирических и т. д. Иначе говоря, само системное движение представляет собой сложнейшую систему, иерархические связи между подсистемами которой, как, впрочем, и специфика ее многих подсистем, для нас пока еще во многом не ясны. Отсюда, следует, во-первых, что отдельные системные подходы (в смысле Берталанфи) действительно могут создаваться на основе не во всем системных и даже совсем не системных разработок, и, во-вторых, что решение задачи четкого осознания различия и многообразия системных проблем, выделения основных «сфер» системных исследований становится в настоящее время важнейшим условием успешной разработки системного подхода. Для того чтобы со знанием дела подойти к разработке системного подхода и общей теории систем, необходимо — на основе учета уроков истории этого движения — дать развернутое представление самой системы современных системных исследований.

3. Основные сферы современных системных исследований

Опыт развития «общей теории систем» Бергаланфи и ряда других аналогичных концепций (их рассмотрение будет дано ниже) убеждает нас в необходимости расчленения всей области современных системных исследований на четыре главные сферы (см. также [17]):

I. Разработка *философских проблем системного подхода*, формирование общих (мировоззренческих) принципов системного анализа.

II. Построение *логики и методологии системного исследования*.

III. Проведение *специально-научных системных разработок* — построение частных системных концепций и теорий применительно к тем или иным проблемам специальных наук и разделов техники.

IV. Создание *общей теории систем* в собственном смысле.

Вполне естественно, что каждая из выделенных сфер призвана реализовать с той или иной степенью полноты *системный подход*, а адекватная экспликация понятия системного подхода, на наш взгляд, может быть получена при следующих условиях:

а) на основе ограничения класса системных объектов и включения в этот класс лишь объектов, представляющих собой органичные целые;

б) путем выявления специфических задач и трудностей системного подхода, т. е. специфической проблематики, возникающей при исследовании указанного класса систем. В эту проблематику можно включить:

— проблему порождения свойств целого из свойств элементов и наоборот;

— проблему иерархического строения систем и поиски вытекающей отсюда специфики взаимосвязи различных уровней системного объекта;

— проблему управления как специфического способа регулирования взаимосвязей между уровнями системы;

— невозможность однозначно детерминистского объяснения строения и жизнедеятельности систем;

— неотделимость описания системы от описания условий ее существования;

в) на основе исторического подхода к системным исследованиям — выявления историко-научных предпосылок формирования системного подхода в современной науке, что очень важно не только для понимания специфики становления системного подхода, как такового, но и для разработки специфических средств и методов такого подхода.

Мы считаем необходимым обратить особое внимание на пункт а) в этом перечне. Ныне слово «система» используется в столь многочисленных смыслах и значениях, что опасность упустить

существенное содержание этого понятия очень велика. Действительно, под системой в литературе понимается «комплекс элементов, находящихся во взаимодействии» (Берталанфи), «нечто такое, что может изменяться с течением времени», «любая совокупность переменных... свойственных реальной машине» (У. Росс Эшби), «множество элементов с отношениями между ними и между их атрибутами» (Р. Фейджин и А. Холл), «совокупность элементов, организованных таким образом, что изменение, исключение или введение нового элемента закономерно отражается на остальных элементах» (В. Н. Топоров), «взаимосвязь самых различных элементов», «все, состоящее из связанных друг с другом частей» (Ст. Бир), «отображение входов и состояний объекта в выходах объекта» (М. Месарович) и т. д. и т. п.

В этих условиях любая попытка обобщить все или по крайней мере все основные значения термина «система» с неизбежностью приводит к тому, что под системой начинают понимать все, что угодно.

Представляется целесообразным рассматривать системный подход как адекватное средство исследования не любых объектов, произвольно называемых системами, а лишь таких объектов, которые представляют собой органичные целые. Опираясь на признак органической целостности как на системообразующее качество, можно выработать эффективный критерий для отнесения тех или иных объектов к классу систем, а соответствующих исследований — к разряду системных. С современной точки зрения в этот класс попадают биологические, психологические, социальные и сложные технические системы, т. е. системы, обладающие не только функционированием, но имеющие собственное поведение, собственную историю, развитие, являющиеся, как правило, иерархическими по своей структуре, и т. д. Даже если в этом случае мы слишком сузим класс систем (ответ на этот вопрос может быть получен в ходе дальнейшего анализа), ускользнувшие от рассмотрения объекты, несомненно, более простые, чем органичные целые, не могут существенно изменить полученные результаты.

Теперь мы перейдем к характеристике выделенных сфер системных исследований, одновременно намечая возможную типологизацию системных концепций и проблем. При этом в основание такого рассмотрения должен быть положен подход, в соответствии с которым каждая системная концепция будет обсуждаться с точки зрения совокупного представления о системном движении в целом. В этом отношении предпринимаемый здесь подход отличается от попыток классификаций, предлагаемых, например, в публикуемых в данном выпуске статьях Л. Берталанфи и А. Рапопорта, а также в некоторых других работах.

I. *Разработка философских проблем системного подхода.* Необычность задач, возникающих перед исследователем систем, и очевидный дефицит средств, необходимых для решения этих задач, заставляют обращаться к самым общим предпосылкам, ко-

которые кладутся в основание практически всех системных исследований. Анализ этих предпосылок занимает более или менее значительное место в любой общесистемной концепции. Различные формы такого анализа и образуют сферу «философии систем». Ее проблематика разрабатывается в двух основных направлениях — онтологическом и гносеологическом.

Онтология систем имеет своим предметом то, что можно было бы назвать *формированием системной картины мира*, т. е. разработку принципов общенаучного мировоззрения, в центре которого стоит представление об объектах исследования как о системах. Уже тектология А. А. Богданова была серьезной попыткой построить новую картину мира, в которой важнейшее место отводится организованности объектов действительности; значение этой попытки не умаляется тем, что сам Богданов считал подобную задачу нефилософской и, более того, полагал, что развитие тектологии приведет к упразднению философии [18, стр. 118]. В качестве разновидности такой картины можно рассматривать упоминавшуюся нами схему У. Уивера, на которую опирается Л. Берталанфи при определении специфического предмета общей теории систем. В той или иной форме тезис о системной организованности действительности принимается всеми теоретико-системными исследованиями. Однако реализуется он по-разному.

Например, К. Боулдинг [15, v. I] намечает два взаимосвязанных, по его мнению, принципиальных пути построения системной онтологии (хотя он не употребляет этого термина): построение «системы систем», т. е. вычленение общих признаков и характеристик системных объектов различной физической природы и разной степени сложности (скажем, многие объекты в социологии, экономике, биологии и других науках могут быть рассмотрены как популяции, с соответствующими характеристиками; общим признаком почти всех систем является наличие у них особой системы взаимоотношений со средой; целый ряд систем самой разной природы, начиная от кристаллов и кончая человеческим обществом, подчиняется законам роста, которым может быть придана единая и притом достаточно строгая форма), и построение «иерархии систем» по степени возрастания их сложности (сам Боулдинг выделяет 9 уровней такой иерархии, начиная от уровня статических структур, выражающих географию и анатомию универсума, и кончая «трансцендентальными системами», которые, по его словам, включают в себя «не поддающиеся анализу абсолюты и непостижимые неизбежности»).

Иначе представляет себе проблему У. Росс Эшби [15, v. III]. По его мнению, в основание общей теории систем должно быть положено представление о множестве всех *мыслимых* систем, включая, скажем, такую систему, как температура воздуха в данной комнате, его влажность и курс доллара в Сингапуре, если эти компоненты можно связать друг с другом. Следовательно, здесь онтология систем мыслится как совокупность предельно абстрактных пред-

ставлений, задающих характеристики системных объектов относительно к их конкретной природе. Близок к этому и онтологический базис концепции О. Ланге [19], в которой исходный тезис о несводимости целого к сумме его частей реализуется путем придания особого «веса» и самостоятельных функций связям системы.

Еще один важный аспект формирования системной картины мира образует разработка *принципов подхода к системным объектам*. Суть этого аспекта очень удачно выразил А. Рапопорт [15, в. XI]. Ссылаясь на известное предостережение А. Уайтхеда об истощении интеллектуального капитала, на котором базируется современная наука, Рапопорт связывает возникновение системного движения с необходимостью выдвижения эффективных альтернатив принципам механистического мировоззрения, которые и составляют этот скудеющий капитал. В другой своей статье, публикуемой в настоящей книге, А. Рапопорт в качестве таких альтернатив рассматривает три группы принципов: организмические идеи в биологии, принципы подхода к построению кибернетических систем в технике и подход к системам, основанный на выявлении средствами математики изоморфизмов в строении, функционировании, поведении и развитии различных типов системных объектов. К этому, в целом достаточно полному, перечню можно добавить, что для О. Ланге альтернативой механицизму является выраженный на языке кибернетики тезис о единстве и борьбе противоположностей.

Все эти подходы объединяет один важный момент: от осознания недостаточности принципов механистического мировоззрения делается шаг к поискам новых принципов на базе *уже существующих* наук. И хотя при этом подчеркивается, что аппарат той или иной базовой дисциплины должен быть усовершенствован, тем не менее нельзя не обратить внимания, что для решения существенно новых задач привлекаются старые средства. Такой путь нельзя, конечно, считать бесперспективным, о чем лучше всего свидетельствует практика самих системных исследований. Но, по-видимому, его надо рассматривать как лишь промежуточный этап на пути формирования системного мировоззрения. В этом смысле заметно отличается от других подход Р. Акофа [15, в. V], который отказывается ориентироваться на какую бы то ни было из традиционных научных дисциплин и полагает, что мировоззренческим базисом системного движения может быть лишь междисциплинарная сфера, органически соединяющая в себе богатство различных подходов к системе. Правда, называя в качестве такой сферы исследование операций, он, быть может, проявляет некоторый избыток оптимизма в отношении к этой дисциплине и ее междисциплинарным возможностям. Но все же пафос и общая линия рассуждения представляются здесь весьма перспективными.

Нетрудно убедиться, что при обсуждении этой стороны дела речь идет о создании *определенной ориентации* современных научных исследований. Эта ориентация, выступающая под разными названиями — организмическое мировоззрение, целостный взгляд на мир, существенные концептуальные изменения в исследовании объектов науки и техники, которые принесла с собой наука середины XX в., и т.п., — связана с поисками убедительного ответа на следующие вопросы: какое развернутое научное содержание следует вкладывать в принципы системного рассмотрения объектов как разного типа организаций, динамического подхода к ним, анализа систем как первично активных, а не рефлекторно действующих, и каково место этих принципов в системе современного научного знания?

Оценивая состояние разработки онтологической проблематики системного подхода, надо иметь в виду, что эта проблематика едва ли допускает слишком строгое и тем более единственное изложение. Здесь важен очевидный факт определенного единства интенции исследователей. Именно это и позволяет говорить о единых основаниях всего комплекса системных исследований. Вместе с тем заметные различия в способах реализации этой интенции заставляют сделать вывод, что в настоящее время системное движение располагает пока еще явно недостаточным набором понятийных средств для развернутого изложения системной картины мира. Отчасти это связано с общим острым дефицитом средств системного исследования, а отчасти — с тем, что онтологическая проблематика обычно не занимает самостоятельного места в системных исследованиях, включаясь во многие работы лишь в виде самых общих предварительных замечаний. В частности, надо признать, что остается в значительной мере нерешенной проблема интерпретации системного подхода в философии диалектического материализма, несмотря на появившийся в последнее время ряд работ по этим вопросам (см., например, [20] [21] [22] [12] [10]).

Гносеологические аспекты системного подхода включают в себя два круга вопросов: *принципы построения системного исследования* и специфический для него *категориальный аппарат*. Очень характерно, что при формулировании гносеологических особенностей системного подхода ряд исследователей (особенно это относится к Эшби и Акофу) подчеркивает определяющую роль гносеологической позиции для принципиальной оценки того или иного исследования как системного. За этим стоит просьбой, но далеко не всегда осознаваемый факт различия между исследованием системного объекта как такового (этим наука занималась и занимается с момента ее возникновения) и собственно системным исследованием этого же объекта. Каковы же гносеологические особенности системного исследования?

Отвечая на этот вопрос, Л. Бертуланфи (см. его статью в настоящей книге), А. Рапорт и У. Росс Эшби подчеркивают, что

наука прошлого была почти исключительно аналитической, тогда как теория систем ставит на первый план задачу синтеза, но такого синтеза, который не завершает анализ, а выступает в качестве исходного принципа исследования. Эту же идею проводит по сути дела и Р. Акоф, когда настаивает на междисциплинарном характере системного подхода. На наш взгляд, развитием этой позиции является выдвинутая В. А. Лефевром идея конфигуратора как особой теоретической модели, синтезирующей различные системные представления объекта [23].

Что касается категориального аппарата системных исследований, то он фактически пока не исследован. Лишь в последнее время начаты попытки выявить смысл некоторых понятий системного подхода в их специфическом употреблении (можно указать, например, на обстоятельный анализ А. А. Малиновским различных типов связей в биологических системах [24]). Между тем эта задача принадлежит к числу первоочередных: во-первых, действительное конституирование системного подхода возможно лишь на основе разработки адекватной категориальной базы; во-вторых, из-за того, что системные исследования вынуждены пользоваться понятиями, в подавляющем большинстве почерпнутыми из науки прошлого, а существенно новое употребление этих понятий обычно специально не фиксируется, возникает опасность «размывания» самой системной проблематики. Именно отсюда рождаются сомнительные спекуляции и далеко не всегда удачные сращения новых слов со старыми проблемами, особенно заметные в философской литературе, посвященной системному подходу (см., например, [11]).

К проблеме категориального аппарата системного подхода непосредственно примыкает вопрос о том, какую роль может сыграть развертывание системных исследований для построения *общего теоретического языка современной науки*. Как показал опыт развития логики и методологии науки в XX в., такой язык не может быть создан на физикалистских основах. В этой связи необходимо определить значение принципов изоморфизма законов и перспективизма (Берталанфи) и системного понимания научной деятельности (Акоф) для решения проблемы единства научного знания.

Идея изоморфности законов в различных областях науки как руководящий принцип построения «общей теории систем» (в понимании Берталанфи) оказалась в центре многочисленных критических обсуждений (К. Гемпель, Р. Бак, Р. Акоф [7] и др.). Эту идею упрекали в отсутствии конструктивности, в том, что из факта установления изоморфизма законов в тех или иных областях знания ничего не следует и т. д. Берталанфи неоднократно отвечал на эту критику, подчеркивая прежде всего то обстоятельство, что установление логических гомологий (изоморфизмов) является объяснением в принципе, которое хотя и не представляет собой собственно объяснения, но лучше, чем отсутствие объяснения вообще; что исследование в этом направлении даст возможность

вскрыть определенные общие принципы, приложимые к системам, и т. д. (см., например, [15, v. VII]).

Наличие широких изоморфизмов в современном научном знании играет определенную эвристическую роль, так как они не только характеризуют концептуальный каркас науки нашего времени, но и облегчают выбор направлений конкретных исследований, открывают возможность избегать дублирования теоретических исследований и т. д. Вместе с тем изоморфизмы сами по себе мало говорят относительно микроструктуры и системных свойств рассматриваемых объектов (подробнее см. [25]).

С другой стороны, со сходными трудностями в решении задачи интеграции научного знания сталкивается и предложенная Р. Акофом концепция системной науки, базирующаяся на понимании науки как определенного вида деятельности [7]. Подчеркивая несомненно интересный аспект проблемы, эта концепция в ее современной стадии реализации — в виде теории операций — не располагает теоретическими моделями деятельности и пока не нашла эффективных путей построения концептуального каркаса современной науки.

II. *Построение логики и методологии системного исследования.* Из широкого комплекса входящих сюда проблем наибольшее значение имеют следующие:

1) формализованно-логическое описание исходных понятий системного подхода, таких, как «система», «структура», «связь», «иерархическое строение систем» и др.;

2) построение логических формализмов, описывающих способы рассуждения при исследовании тех или иных аспектов системной проблематики, например систем связей, биологии, логики целостностей и т. д.;

3) использование сложившегося к настоящему времени аппарата формальной логики для решения тех или иных системных проблем; типичным примером подобного исследования является идущее от Дж. фон Неймана и У. Маккалока применение аппарата многозначной логики для расчета надежности биологических систем и определения информационных потоков в них (см., например, [26]).

К настоящему времени ряд исследований выполнен по каждой из указанных групп проблем. Так, например, попытку определения понятия *системы* в языке, использующем теорию предикатов, предпринял А. И. Уемов (см., например, [10] и его статью, публикуемую в настоящем выпуске). Понятие системы определяется им через категории вещи, свойства и отношения, причем существенное значение придается порядку использования этих категорий.

В связи с построением формальных определений понятия «система» (используя не только логические формализмы, но, как об этом будет сказано в дальнейшем, и языки абстрактной алгебры, теории множеств и т. д.) возникает методологическая проблема взаимоотношения качественного и формального исследования

этого понятия. Хотя формальное исследование возможно лишь в рамках определенного языка, его реализация предполагает обязательное уточнение качественных характеристик, и, наоборот, результаты формального анализа приводят к модификации качественного определения. В некоторых случаях может наблюдаться диссонанс между двумя сторонами определения. Так, существующие на сегодня формальные определения понятия «система», по-видимому, не охватывают все вскрытые качественные характеристики этого понятия.

Логично также предположить, что вряд ли можно построить единственное формальное определение понятия «система». Скорее, над качественной характеристикой этого понятия будут надстраиваться различные формальные определения, дополняющие друг друга, причем каждое из них будет определять особую область системных исследований.

Значительное место в логике и методологии системного исследования уделяется также анализу понятия «связь» (см. [27] [21] [17] [24]). Понятие связи с давних пор употребляется в различных научных дисциплинах и долгое время представлялось интуитивно ясным. Однако сопоставление различных его употреблений показывает, что в действительности под этой интуицией нет единой основы и фактически в настоящее время отсутствуют средства для строгого отличия этого понятия от близкого к нему понятия отношения (связь рассматривается либо как один из видов отношения, либо как нечто независимое от отношения, либо, наконец, как более широкое по сравнению с отношением понятие). Содержание, вкладываемое в это понятие, настолько различно, что нередко не представляется возможным отличить связь от элемента системы (например, в биологии под связями понимают часто цепи переноса вещества, энергии или информации, хотя очевидно, что такого рода цепи вполне могут рассматриваться в качестве элементов или подсистем определенной системы).

В несистемных исследованиях такая многозначность понятия связи не создавала особых трудностей. Переход к системным исследованиям выдвинул задачу логико-методологического анализа этого понятия, поскольку связь, с одной стороны, всегда выступает в качестве весьма существенной характеристики любой системы, а с другой стороны, в любой системе среди множества связей необходимо отыскать специфические *системообразующие* связи.

В работах А. А. Зиновьева (например, [27]) не только дано формализованное представление понятия связи, но и предпринята первая попытка построения исчисления связей, т. е. описания процессов рассуждения, в которых используются высказывания о связях. Близкие исследования в плане логического анализа отдельных аспектов системных исследований выполнены Ж. Пиже — построение логики целостностей [28], Г. Фёрстером — разработка биологии, устанавливающей, в частности, правила сверхаддитив-

ного нелинейного сложения, которое действует для живых систем [29], В. А. Лефевром — анализ рефлексивных рассуждений, при которых партнеры (конфликтующие стороны) пользуются своими представлениями о мысленных моделях противника [30], и др.

При рассмотрении логических проблем системного исследования встает вопрос о возможности *систематического* построения в виде соответствующих исчислений особой *логики систем*. Пока эта задача далека от своего разрешения. Вместе с тем и убедительное доказательство (в первой половине XX в.) неуниверсальности классической логики, и быстрый рост в последнее время многочисленных неклассических и специализированных (применительно к тому или иному классу содержательных проблем) логических систем свидетельствуют в пользу возможности положительного ответа на этот вопрос.

III. *Специально-научные системные концепции и разработки.* Эта сфера образует, так сказать, основной массив современных системных исследований. Именно на нее приходится основная часть полученных до сих пор результатов. Даже простое перечисление конкретных направлений этих исследований было бы крайне затруднительным: здесь и работы, посвященные выявлению некоторых изоморфизмов метеорологических и социальных систем, и попытки построения математических моделей оптимальной эксплуатации определенных биологических популяций, и создание формализмов для описания онтогенеза человеческой психики, и анализ частных проблем конфликтного взаимодействия и т. д. и т. п. Поэтому мы ограничимся лишь самой общей характеристикой этой сферы.

Прежде всего очевидно, что она занимает центральное место во всем комплексе системных исследований: ведь ради получения конкретных научных результатов развиваются все остальные сферы системного подхода. Вместе с тем специально-научные системные разработки являются и основным эмпирическим базисом, на котором строятся другие направления анализа.

Сильную сторону специально-научных системных исследований составляет то, что в них обычно достаточно строго и однозначно употребляются основные понятия. Это естественно: если, например, эколог говорит о связях, то для него они представляют вполне определенную реальность и ему, во всяком случае, не требуется решать вопрос о том, что общего между экологической и логической связями. Иными словами, для представителя любой сферы конкретного системного исследования всегда ясен или хотя бы интуитивно очерчен объект анализа, тогда как для философа, логика или теоретика систем именно этот пункт является источником наибольших затруднений.

С другой стороны, для подавляющего большинства специально-научных системных исследований характерна относительная бедность применяемых логико-методологических средств. Это осо-

бенно относится к средствам формализации, которые создавались в науке безотносительно к специфическим задачам системного исследования. Во многих случаях это обстоятельство не играет пока заметной сдерживающей роли, поскольку и старые средства позволяют получать и накапливать эмпирический материал, а для дисциплин, подобных экологии, эта задача еще долго будет оставаться одной из центральных. В этом смысле безусловно прав А. Рапопорт (см. его статью в настоящей книге), призывающий применять математический подход к системам везде, где это возможно. Но в социологии, психологии и ряде отраслей биологии такая стратегия не всегда поддается эффективной реализации. Здесь явно необходимы новые логико-методологические понятия и средства формализации. Поэтому будущее этих исследований представляется неотделимым от развития логики и методологии системного исследования.

В последние годы одной из важных областей приложения системных идей становятся попытки анализа общих тенденций развития науки и техники с системной точки зрения, лежащие в общем русле современных исследований по науковедению. В работах Г. Н. Поварова (см., в частности, [31]) показывается, что уровень сложности познаваемых и создаваемых человеком систем может рассматриваться как мерило власти человека над природой, обобщенный показатель состояния науки и техники в данное время. Рост сложности систем выражается в увеличении числа элементов и в усилении, усложнении их взаимосвязей. С этих позиций история науки и техники разбивается на ряд больших стадий, отличающихся по специфически системным характеристикам. Разработка этой проблематики позволит более глубоко прогнозировать тенденции современного научно-технического прогресса.

IV. *Построение общей теории систем.* Еще несколько лет назад казалось, что наука находится на пороге создания концепции, которая получит статус общей теории систем и явится достойным венцом системного движения. Практика не подтвердила этих ожиданий, и сейчас более уместно звучит вопрос: «возможна ли общая теория систем»? А. Рапопорт, давая на него косвенный ответ, видит в общей теории систем не теорию в строгом смысле слова, а *общую исследовательскую ориентацию*. Это, пожалуй, слишком осторожное утверждение находится в некотором противоречии с практикой системного движения. Дело в том, что после обнаружения Л. Берталанти своего варианта общей теории систем не прекращаются попытки противопоставить ему альтернативные варианты. Эти попытки идут как в направлении уточнения содержательной базы общей теории систем, так и по линии построения формализованных концепций. Как оценить подобные попытки и, следовательно, ответить на вопрос о возможности построения общей теории систем в строгом смысле?

Прежде всего надо подчеркнуть, что многообразие общесистемных концепций соответствует многообразию их исходных оснований и используемого аппарата. В самом деле, у истоков «общей теории систем» Берталанфи лежит его теория открытых систем, причем по своему характеру концепция Берталанфи является эмпирической.

Этот упрек в адрес «общей теории систем» Берталанфи был брошен в свое время У. Росс Эшби, который предложил начинать исследование с другого конца—со «всех мыслимых систем» — и потом сокращать это множество до разумных пределов [15, v. III, стр. 2]. Фактически по этому пути пошли все остальные авторы различных вариантов теории систем, в том числе и сам Эшби, который проводил свои исследования проблем сложности систем, гомеостаза и т. д. с помощью логико-алгебраического аппарата Ж. Риге (см. [15, v. IX]).

Рамки статьи заставляют нас остановиться лишь на некоторых из этих «альтернативных» к «общей теории систем» Берталанфи концепций. М. Месарович строит свой вариант теории систем на языке теории множеств и теории отношений для описания главным образом многоуровневых многоцелевых систем [7] [8]. Для О. Ланге главной проблемой является описание механизма появления целостных свойств и процессов развития; им используется алгебраический аппарат [19]. В разрабатываемой А. И. Уемовым, В.Н. Костюком и другими концепции (см. [10] [9] и статьи в данном выпуске) основное внимание уделяется способам установления общесистемных закономерностей—теоретическому (с использованием языков алгебры и логики), эмпирическому, а также проблемам оценки сложности систем. Языки логики и теории вероятностей используются М. Тода и Э. Шуффордом [15, v. X] для анализа проблем композиции и декомпозиции систем и т. д.

Несмотря на все очевидные различия названных подходов к построению «общей теории систем», их всех объединяет четкая ориентация на исследование *строго определенных классов* системных объектов — абстрактно-математических, биологических, технических — и стремление не столько заниматься общеметодологической проблематикой, сколько — на базе той или иной исследовательской техники — получать конкретные результаты. Относительная простота исследуемых объектов и значительно более узкая сфера анализа (по сравнению с «общей теорией систем» Л. Берталанфи) позволили авторам этих концепций построить в ряде случаев достаточно интересные математические модели.

В настоящее время, как нам представляется, отсутствуют достаточные основания для категорической оценки значения названных концепций в развитии системного движения в целом. После осознания того факта, что «общая теория систем» Берталанфи является лишь одним из подходов к построению такой концепции, наступило время научной конкуренции разных концепций и их после-

дующих возможных синтезов. Несомненно, что для успешного развития в этом направлении важное значение будут иметь те концепции, которые, надо полагать, возникнут в ближайшем будущем и опишут аспекты системных объектов, выпадающие пока из рассмотрения.

Пока нет ясности и единства в вопросе о том, какие объекты могут правомерно называться системами, какие их свойства и характеристики следует считать в собственном смысле системными и какова специфика системного подхода к изучению этих объектов, — до тех пор множественность общесистемных концепций является не только естественной, но и необходимой. Важно подчеркнуть, что такое положение несколько не подрывает научной значимости системного подхода: кибернетика так и не сумела выработать единой теории, хотя ее научный статус ни у кого не вызывает сомнений.

Но если иметь в виду несколько более отдаленную перспективу, то едва ли можно представить себе, что многочисленные разновидности общей теории систем будут просто сосуществовать, независимо соседствуя друг подле друга. Параллельно с разработкой этих вариантов уже сейчас ведется работа по их сопоставлению, и каждая новая концепция стремится быть совершеннее своих предшественниц. Может быть, этот процесс завершится созданием единой общей теории систем. Но вполне возможно, что такая теория так и не увидит света: слишком широкой представляется область, под которую должна быть подведена единая и строгая теория. В таком случае это будет совокупность разных теорий, опирающихся на высокоразвитую содержательную базу и достигших высокого уровня формализации. Роль этих теорий, в большей или меньшей мере взаимосвязанных, будет определяться тем, насколько они дадут строгие правила описания и объяснения объектов системного исследования. Однако в любом случае будущее этой сферы системного подхода непосредственно определяется тем, насколько полно и эффективно сумеет она вобрать в себя и обобщить результаты трех других сфер.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Bertalanffy L. von. Biologische Gesetzmäßigkeit im Lichte der organismischen Auffassung. — «Travaux de IX Congrès International de Philosophie». Paris, 1937, v. VII, p. 158—164.
2. Bertalanffy L. von. Allgemeine Systemtheorie und die Einheit der Wissenschaften. — «Atti del XII Congresso Internazionale di Filosofia (Venezia, 1958)». Firenze, 1960, v. V, p. 55—61.
3. Bertalanffy L. von. General System Theory — A critical review. — «General Systems», v. VII, 1962, p. 1—20.
4. Bertalanffy L. von. An Outline of General System Theory. — «The British Journal for the Philosophy of Science», v. I, 1950, p. 134—165.

5. Research Abstracts. Systems Research Center. Case Western Reserve University. December, 1967.
6. Systems: Research and Design. — Proceedings of the First Systems Symposium at Case Institute of Technology. D. Eckman (Ed.). New York, John Wiley, 1961.
7. Общая теория систем. Перев. с англ. М., 1966.
8. Systems Theory and Biology. — Proceedings of the Third Symposium at Case Institute of Technology. M. D. Mesarovic (Ed.). New York, Springer-Verlag, 1968.
9. Материалы к симпозиуму по логике науки. Киев, 1966.
10. Вопросы логики и методологии общей теории систем. Материалы к симпозиуму. Под ред. О. Я. Гельмана. Тбилиси, 1967.
11. Методологические вопросы системно-структурного исследования. Тезисы докладов. Под ред. В. С. Молодцова и др. М., 1967.
12. Проблемы исследования систем и структур. Материалы к конференции. Под ред. М. Ф. Веденова и др. М., 1965.
13. Структурные уровни биосистем. Материалы к конференции. Под ред. М. Ф. Веденова и др. М., 1967.
14. Категория структуры и развитие физики элементарных частиц. Дубна, 1966.
15. General Systems. Yearbook of the Society for General Systems Research. L. von Bertalanffy and A. Rapoport (Eds.) V. I—XIII, 1956—1968, Ann Arbor.
16. Рапорт А. Различные подходы к общей теории систем.— См. в настоящей книге.
17. Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Системный подход: предпосылки, проблемы, трудности. М., 1969.
18. Богданов А. Всеобщая организационная наука (тектология), ч. I. М.—Л., 1925.
19. Lange O. Całocisk i rozwój w świetle cybernetyki. Warszawa, PWN, 1962.
20. Лекторский В. А., Садовский В. Н. О принципах исследования систем. — «Вопросы философии», 1960, № 8.
21. Щедровицкий Г. П. Проблемы методологии системного исследования. М., 1964.
22. Садовский В. Н. Методологические проблемы исследования объектов, представляющих собой системы. — «Социология в СССР», т. I. М., 1965.
23. Лефевр В. А. О способах представления объектов как систем. Тезисы докладов симпозиума «Логика научного исследования» и семинара логиков. Киев, 1962.
24. Малиновский А. А. Некоторые вопросы организации биологических систем. — «Организация и управление». М., 1968.
25. Садовский В. Н. Логико-методологический анализ «общей теории систем» Л. Бераланфи. — «Проблемы методологии системного исследования». М. (в печати).
26. Принципы самоорганизации. Перев. с англ. М., 1966.
27. Зинovieв А. А. Дедуктивный метод в исследовании высказываний о связях. — «Применение логики в науке и технике». М., 1960.
28. Piaget J. Logic and Psychology. Manchester, 1957.
29. Фёрстер Г. Биологика. — «Проблемы бионики». М., 1965.
30. Лефевр В. А. Конфликтующие структуры. М., 1967.
31. Поваров Г. Н. Сложность систем как показатель научно-технического прогресса.— Опубликовано в [12].

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СИСТЕМ — ОБЗОР ПРОБЛЕМ И РЕЗУЛЬТАТОВ*

Л. фон БЕРТАЛАНФИ

1. Системы повсюду

Каждый, кто захотел бы проанализировать наиболее употребительные современные понятия и ходячие выражения, обнаружил бы в самом начале списка слово «система». Это понятие распространилось во всех сферах науки и проникло в обыденное мышление, в жаргон и в средства массовых коммуникаций. Системное мышление играет ведущую роль в широком диапазоне человеческой деятельности — от индустриального предприятия и средств вооружения до эзотерических тем чистой науки. Системам посвящается несметное множество публикаций, конференций, симпозиумов и учебных курсов. В последние годы появились профессии под такими названиями, как проектирование систем, анализ систем, системотехника и т. д., которые совсем недавно были неизвестны. Они составляют самое ядро новой техники и технократии; специалисты, работающие в этих областях, являются «новыми утопистами» нашего времени (Boguslaw [23]); в отличие от классического поколения утопистов, идеи которых не выходили за пределы книжных полок, они трудятся над созданием Нового Мира, Прекрасного или какого-либо иного.

Этот процесс вызван многими сложными причинами. Одна из них — появление наряду с энергетикой техники автоматического управления. В результате стали развиваться автоматизация, вычислительная техника и т. д. Появились самоуправляющиеся машины — от скромного термостата до самонаводящихся ракет второй мировой войны и значительно усовершенствованных современных моделей ракет. Это привело к изменению «идеологии» исследования. Техника стала рассматриваться в категориях не отдельных изделий, а «систем», включающих в себя не только разно-

* L. von Bertalanffy. General System Theory: A Survey. Сокращенный перевод с английского выполнен Б. Г. Юдиным с рукописи, присланной автором для настоящего издания и представляющей собой «Введение» к книге: L. von Bertalanffy. General System Theory. Foundations, Development, Applications. N.Y., Braziller, 1968.

родные технические процессы — механические, электронные, химические и т. д., но и отношения между человеком и машиной, а также многочисленные финансовые, экономические, социальные и политические проблемы. В результате воздушное или даже автомобильное сообщение не сводится к вопросу о том, сколько машин курсирует по дорогам, а представляет собой систему, которую необходимо планировать и специально создавать. Подобный характер носят многочисленные проблемы, возникающие в современном производстве, коммерции и в процессе создания военной техники.

Все это привело к тому, что «системный подход» стал насущной необходимостью. Если дана некоторая цель, то для того, чтобы найти пути и средства ее реализации, требуется специалист (или группа специалистов) по системам, рассматривающий альтернативные решения и выбирающий те из них, которые обеспечивают оптимизацию, наибольшую эффективность и минимальные затраты в чрезвычайно сложных сетях взаимодействий. Для решения указанных проблем требуются тщательно разработанные технические приемы и совершенные вычислительные машины, значительно превосходящие временные и умственные возможности математика вчерашнего дня. Современные вычислительные машины, автоматизация и кибернетизация и системная наука, вместе взятые, представляют собой разившуюся в последние десятилетия новую техническую революцию, то, что можно назвать «второй промышленной революцией».

Было бы ошибкой относить указанные изменения только к промышленному и военному производству. Ныне даже политические деятели требуют применения «системного подхода», считая его революционно новой концепцией [22] [29], к своим неотложным проблемам, таким, как загрязнение воздуха и воды, перегруженность дорог транспортом, пороки урбанизации, преступность среди молодежи и организованный бандитизм, городское планирование [93] и т. д.

Все эти указанные изменения остались бы только одной из многих граней нынешних изменений в нашем индустриальном обществе, если бы не один существенный момент, который легко упустить, занимаясь детально разработанными и поэтому необходимо ведущими к узкой специализации проблемами вычислительной математики, системотехники и связанных с ними областей знания. Дело заключается не только в технических усовершенствованиях, благодаря которым создаются более крупные и улучшенные изделия (или более прибыльные, обладающие большей разрушающей способностью, или и то и другое вместе). Изменяются основные категории мышления, причем сложность современной техники — только одно и, возможно, не самое важное проявление этого. Так или иначе, но во всех областях современного знания мы вынуждены сталкиваться с необходимостью анализа сложных объектов,

определенных «целостностей» или «систем». Это ведет к фундаментальной переориентации научного мышления.

Мы рассмотрим несколько примеров, выбранных более или менее произвольно, для того чтобы охарактеризовать эту переориентацию.

Начнем с физики. Хорошо известно, что наряду с огромными успехами последних десятилетий в физике возникли также новые проблемы или даже новый тип проблем. Вероятно, неспециалисту прежде всего бросается в глаза факт существования достаточно большого числа — порядка сотни — элементарных частиц, с которыми современная физика не очень-то знает, что делать. По словам одного известного ученого, дальнейшее развитие ядерной физики «требует большой экспериментальной работы, а также создания дополнительных мощных методов оперирования с системами, состоящими из большого, но не бесконечного числа элементов» [31]. Эту же мысль выразил в 1964 г. видный физиолог А. Сент-Дьёрди в довольно причудливой форме: «Когда я приступил к работе в Институте перспективных исследований в Принстоне, я надеялся, что в компании великих атомных физиков и математиков я смогу кое-что узнать о живой материи. Но когда я однажды обмолвился о том, что в любой живой системе имеется больше двух электронов, физики не захотели говорить со мной. Со всеми своими вычислительными машинами они не в состоянии были сказать, что мог бы делать третий электрон. Замечательно, что сам этот электрон хорошо знает, что ему делать. Таким образом, маленький электрон знает нечто такое, чего не знают все мудрые мужи Принстона, причем то, что он знает, должно быть чем-то очень простым» [85].

Триумф молекулярной биологии в последние годы, значительные успехи в исследовании генетического кода, новые достижения генетики, эволюционной теории, медицины, физиологии клеток и многих других областей биологии хорошо известны. В ходе этого развития становится все более явной необходимость построения «организмической» биологии, о чем автор настоящей статьи говорил на протяжении почти сорока последних лет. Биология должна интересоваться не только физико-химическим или молекулярным уровнями, но и более высокими уровнями организации живого. Это требование выдвигается с новой силой в условиях современного развития биологических знаний, однако едва ли добавился хотя бы один новый аргумент по сравнению с тем, что мы обсуждали ранее (см. Бертуланфи [10] 11] [14]).

Если мы далее обратимся к психологии, то здесь долгое время в качестве основной концепции использовалась «модель робота». Поведение при этом объяснялось при помощи механистической схемы «стимул—реакция» ($S-R$); по образцу экспериментов над животными обуславливание выступало как основа человеческого поведения, что приводило к отрицанию его специфики и т. д. Гештальт-психология почти 50 лет назад первой выступила против

механистической схемы. Позже было предложено много попыток более удовлетворительно объяснить «образ человека», причем большинство из них базировалось на понятии системы [19]. Согласно Э. Хану, Пиаже, например, «определенно связывает свою концепцию с общей теорией систем Берталанфи» [41]. В психиатрии системная точка зрения принята, возможно, даже в большей мере, чем в психологии (см., например, [59] [18] [40] [39]).

Аналогичное положение и в социальных науках. Путаница и противоречия, характерные для широкого спектра современных социологических теорий (Sorokin [82] [83]), заставляют сделать одно твердое заключение: социальные явления должны рассматриваться как «системы».

Течение событий в наше время побуждает к принятию подобной концепции и в истории, учитывая, что в конечном счете история есть социология, взятая применительно к процессу развития рассматриваемых явлений: одни и те же социокультурные сущности в социологии исследуются в их нынешнем состоянии, а в истории — в процессе их становления.

В то время как социология (и, вероятно, история) имеет дело с неформальными организациями, другое современное направление исследований разрабатывает теорию формальных организаций, т. е. таких, которые создаются планомерно, например структура армии, бюрократии, делового предприятия и т. д. Это направление также «базируется на философии, принимающей в качестве предпосылки, что единственным осмысленным путем изучения организации является изучение ее как системы»; системный анализ рассматривает «организацию как систему взаимосвязанных переменных»; поэтому «современная теория организации неразрывно связана с проблематикой общей теории систем» (Scott [77]). Приведем слова Р. Акофа — видного специалиста в области исследования операций: «В последние два десятилетия мы являемся свидетелями быстрого развития понятия «система», ставшего ключевым в научном исследовании. Конечно, системы изучались в течение многих столетий, но теперь в такое исследование добавлено нечто новое... Тенденция исследовать системы как нечто целое, а не как конгломерат частей соответствует тенденции современной науки не изолировать исследуемые явления в узкоограниченном контексте, а изучать прежде всего взаимодействия и исследовать все больше и больше различных аспектов природы. Мы уже наблюдали, как под флагом системного исследования (и многих его синонимов) осуществлялась конвергенция многих весьма специальных современных научных движений... Эта и многие другие подобные формы научного исследования представляют собой коллективную деятельность, включающую постоянно расширяющийся спектр научных и технических дисциплин. Мы участвуем в том, что, вероятно, является наиболее широкой из предпринятых до сих пор попыток достигнуть синтеза научного знания» [1].

Таким образом, круг замкнулся, и мы вновь вернулись к тем направлениям развития современного индустриального общества, с которых начали наше рассмотрение. Каким бы отрывочным и поверхностным ни был наш анализ, из него следует, что для современных наук и современной жизни необходимы существенно новые понятия, новые идеи и категории, которые так или иначе концентрируются вокруг понятия «система». В этой связи приведем мнение советского автора: «Разработка специфических методов изучения системных объектов является одной из черт современного научного знания, тогда как для науки XIX века было характерно преимущественное внимание к выделению „элементарных“ образований и процессов в природе» (Ю. А. Левада [55] — цит. по [41]).

Мы должны также упомянуть очевидные опасности этого нового направления научного исследования. По словам психотерапевта Рюша, новый кибернетический мир интересуются не людьми, а «системами» [75]. По выражению Богуслава [23], для новых утопистов, исповедующих идеи системотехники, «человеческий элемент» является наиболее ненадежным звеном. Или он должен быть изъят и заменен материальными сооружениями — вычислительной техникой, саморегулирующимися машинами и тому подобным, или же его необходимо сделать надежным, насколько это возможно, т. е. машиноподобным, конформистским, управляемым и стандартизированным. Говоря более резко, человек в Большой системе должен быть — и в значительной степени уже стал — умственно недоразвитым нажимателем кнопок или обученным идиотом, т. е. высококвалифицированным в своей специальности, но во всех других отношениях представляющим собой лишь часть машины. В соответствии с хорошо известным системным принципом — принципом прогрессирующей механизации — индивид во все большей степени становится зубчатым колесом некоторой сложной конструкции, управляемой несколькими привилегированными лидерами, которые за дымовой завесой идеологий преследуют свои частные интересы [83, стр. 588 и след.].

Вне зависимости от того, какие специальные цели мы преследуем — то ли анализ позитивного влияния теории систем на развитие научного знания и увеличение возможности управления окружающей средой и обществом, то ли мы видим в системном движении появление некоего «Прекрасного Нового Мира», — в обоих случаях необходимо интенсивное изучение этого движения.

2. История теории систем

Насколько мы можем судить, концепция «общей теории систем» впервые была предложена автором настоящей работы еще до появления кибернетики, системотехники и связанных с ними дисциплин. Конечно, как и любое другое научное понятие, понятие системы имеет свою долгую историю. Хотя сам термин «система» далеко

не всегда явно выделялся, эта история богата именами многих философов и ученых. В этой связи необходимо упомянуть «натуральную философию» Лейбница, Николая Кузанского с его совпадением противоположностей, мистическую медицину Парацельса, предложенную Вико и Ибн-Халдуном версию истории последовательности культурных сущностей, или «систем», диалектику Маркса и Гегеля,— этот перечень, конечно, далеко не полон. Литературный гурман может также вспомнить «De ludo globi» («Об игре, то есть вращении земного шара») Николая Кузанского (см., в частности [9]) и «Glasperlenspiel» («Игра стеклянных бус») Германа Гессе— в обоих случаях преобразование мира понимается как искусно задуманная абстрактная игра.

Несколько ученых можно считать непосредственными предшественниками общей теории систем. В. Кёлер [51], выдвинувший проблему «физических гешталтов», шел в этом направлении, но не ставил проблему систем во всем объеме, ограничивая ее рассмотрением гешталтов в физике (и возможностью интерпретировать на этой основе биологические и психологические явления). В своей более поздней публикации 1927 г. [52] Кёлер выдвинул тезис о теории систем, предполагающий изучение общих свойств неорганических систем в сравнении с органическими; до некоторой степени это требование было выполнено в теории открытых систем. А. Лотка в своей классической работе 1925 г. [57] ближе всего подошел к этой цели, и основными формулировками на этот счет мы обязаны ему. Он действительно рассматривал общее понятие системы (не ограничивая его, как Кёлер, физическими системами). Лотка, однако, был статистиком, и его более интересовали проблемы популяции, чем биологические проблемы отдельного организма. Этим можно объяснить некоторые непоследовательности в концепции Лотки: он, например, рассматривал сообщества как системы и в то же время считал отдельный организм суммой клеток.

Несмотря на блестящую плеяду предшественников общей теории систем, осознание необходимости и возможности системного подхода произошло только в самое последнее время. Его необходимость является следствием того, что была доказана недостаточность механистической схемы изолированных причинных цепей и меристских концепций, особенно для биологических наук и практических проблем, поставленных современной техникой. Его возможность является следствием многообразных новых исследований — теоретических, эпистемологических, математических и т. д., которые, хотя ныне они только начаты, делают системный подход все более осуществимым.

В начале 20-х годов автора настоящей статьи стали приводить в недоумение очевидные пробелы в биологических—эмпирических и теоретических исследованиях. Уже упоминавшийся механистический подход, господствовавший в то время, казалось, не замечал или активно отрицал как раз то, что существенно в явлениях жизни.

Автор защищал организмическую концепцию в биологии, подчеркивающую необходимость рассмотрения организма как целого или системы и видящую главную цель биологических наук в открытии принципов организации живого на его различных уровнях. Первые наши работы на этот счет восходят к 1925—1926 гг. Отметим, что именно в это время была опубликована философия «органического механизма» Уайтхеда (1925 г.) [91]. Несколько позже появились работы Кэннона по гомеостазису (в 1929 и 1932 гг.) [27] [28]. Великим предшественником организмической концепции был Клод Бернар, но за пределами Франции его труды были малоизвестны; даже теперь они еще не вполне оценены [8; стр. 960]. Одновременное появление сходных идей независимо друг от друга и на разных континентах было симптомом возникновения новой обобщенной научной концепции; потребовалось, однако, некоторое время для того, чтобы она приобрела популярность.

Здесь мы должны сделать маленькое замечание личного порядка. В последние годы ведущие американские биологи (Dubos [33] [34]; Dobzhansky [32]; Commoner [30]) вновь подчеркивают значение «организмической биологии», не упоминая, однако, ранних работ автора на этот счет, хотя в литературе Европы и, в частности, у ряда ученых социалистических стран (например, Ungerer [88]; Blandino [21]; Tribiño [87]; Канаев [50]; Kamarýt [48] [49]; Bendmann [6] [7]; Афанасьев [2]) они получили должное признание.

Философское образование автор получил в духе традиций неопозитивизма группы Морица Шлика, которая позже стала известна как Венский кружок. Несомненно, однако, что интерес к немецкому мистицизму, историческому релятивизму О. Шпенглера, истории современного искусства и другим подобным неортодоксальным направлениям помешал мне стать добропорядочным позитивистом. Более сильными были мои связи с Берлинской группой 20-х годов — «Обществом эмпирической философии», в котором видную роль играли философ-физик Ганс Рейхенбах, психолог А. Герцберг, инженер Парсеваль и др.

В связи с экспериментальной работой по метаболизму и росту, с одной стороны, и попытками конкретизировать организмическую программу — с другой, мною была предложена в 30-е годы программа теории открытых систем, основанная скорее на том тривиальном факте, что организм представляет собой открытую систему, нежели на какой-либо развернутой биологической теории, существовавшей в то время. На этой базе возникла необходимость распространить традиционную физическую теорию на биофизику путем обобщения кинетических принципов и термодинамической теории; в рамках последней была разработана термодинамика необратимых процессов.

Впоследствии оказалось возможным дальнейшее обобщение. Выяснилось, что ко многим явлениям биологии, а также явлениям

бихевиоральных и социальных наук применимы определенные математические понятия и модели, которые неприложимы к объектам, исследуемым в физике и химии, и в этом смысле превосходят физику как образец «точной науки». Стало также очевидным структурное подобие, изоморфизм таких моделей, построенных для различных областей; при этом в центре внимания оказались проблемы порядка, организации, целостности, телеологии и т. д., которые демонстративно исключались из рассмотрения в механистической науке. Такова в общих чертах исходная идея «общей теории систем».

Надо сказать, что существовавшая в этот период ситуация не благоприятствовала развитию такой концепции. В то время было принято отождествлять биологию с лабораторным, чисто экспериментальным исследованием, и автор уже перешел все границы дозволенного, когда он в 1932 г. опубликовал книгу «Theoretische Biologie» («Теоретическая биология») [11], посвященную несколько иной области биологии, только недавно обретшей академическую респектабельность. В наши дни, когда существует ряд журналов, публикующих многочисленные статьи по общей теории систем, и когда построение моделей превратилось в модное и весьма почетное занятие, даже трудно себе вообразить возможность сопротивления этим идеям. Однако это было так. Одобрение общей теории систем со стороны покойного профессора Отто Пётцля, хорошо известного венского психиатра, помогло преодолеть некоторые трудности и подготовить публикацию, вводящую в ее проблематику. И опять вмешалась судьба. Написанная с этой целью статья для «Deutsche Zeitschrift für Philosophie» достигла стадии корректуры, но номер журнала был уничтожен в годы войны. После войны принципы общей теории систем неоднократно излагались нами в лекциях, широко обсуждались с физиками [12] и дискутировались на специальных симпозиумах [20].

С момента своего возникновения теория систем сразу же натолкнулась на критику, которая видела в ней фантастическую и весьма самонадеянную концепцию. Некоторые утверждали, что общая теория систем тривиальна, поскольку так называемые изоморфизмы суть лишь трюизмы, говорящие, что математику можно применять к любым вещам, и поэтому теория систем имеет значение, не большее, чем «открытие», что $2 + 2 = 4$ одинаково справедливо и для яблок, и для долларов, и для галактик. Другие считали ее ошибочной из-за поверхностных аналогий вроде известного сравнения общества с «организмом», которое скрывает действительные различия и в силу этого приводит к неверным и даже морально нежелательным выводам. Или же, наконец, ее признавали философски и методологически необоснованной из-за пресловутой «несводимости» более высоких уровней к более низким, то есть на основе тенденции отрицания роли аналитического исследования, успехи которого в таких областях, как сведение

химии к физическим принципам или жизненных явлений к молекулярной биологии, в настоящее время совершенно очевидны.

Постепенно, однако, начали осознавать, что такие возражения упускают из виду то, для чего, собственно, была выдвинута теория систем, а именно задачу построения научного объяснения и теоретического знания в тех областях науки, где прежде их не было, и достижения более высокой степени обобщения, чем это позволяют сделать специальные науки. Эта ситуация удачно подытоживается в письме экономиста К. Боулдинга, которое он направил автору данной статьи в 1953 г.: «Я, кажется, получил выводы, которые во многом сходны с Вашими, хотя пришел к ним от экономики и социальных наук, а не от биологии: существует некоторая основа — я назвал ее „общей эмпирической теорией“, Вы очень удачно — „общей теорией систем“, — которая широко применима во многих различных дисциплинах. Я уверен, что многие люди во всем мире подошли по существу к той же позиции, что и мы, но все мы рассеяны и не знаем друг друга, так как очень трудно пересечь границы отдельных научных дисциплин».

В первый год работы Центра по развитию исследований в биохевиоральных науках (Пало Альто) произошла встреча К. Боулдинга, биоматематика А. Рапопорта, физиолога Ральфа Жерара и автора этих строк; на ежегодном конгрессе 1954 г. Американской ассоциации развития науки (American Association for the Advancement of Science — AAAS) нам удалось реализовать проект создания «Общества общей теории систем» («Society for General System Theory»). Это название позже было изменено на менее обязывающее — «Общество исследований в области общей теории систем» («Society for General Systems Research»); это Общество входит в качестве филиала в AAAS, а его собрания, привлекающие большое число участников, стали неотъемлемой частью съездов AAAS. Местные группы Общества организованы в различных центрах США, и по их примеру созданы рабочие группы в Европе. Первоначальная программа Общества не нуждается в пересмотре: «Общество исследований в области общей теории систем» организовано в 1954 г. в целях содействия развитию теоретического анализа систем, результаты которого могут применяться более чем к одному из традиционных разделов научного знания. Его главные функции таковы: 1) исследование изоморфизмов понятий, законов и моделей в различных областях науки для их переноса из одной дисциплины в другую; 2) содействие построению адекватных теоретических моделей для тех областей науки, в которых они отсутствуют; 3) минимизация дублирования теоретических исследований в различных научных областях; 4) содействие выявлению единства науки путем установления связей между специалистами различных наук».

Общество начиная с 1956 г. издает ежегодник «General Systems» под редакцией А. Рапопорта и Л. фон Берталанфи. Редак-

ция «General Systems» намеренно не проводит строгой политики отбора статей, а предоставляет место для статей различных направлений, как, вероятно, и надлежит делать в области, испытывающей острую потребность в новых обобщающих идеях и исследованиях. Как правило, ведущиеся разработки и публикации посвящаются применению принципов общей теории систем к специальным научным дисциплинам; эта тенденция нашла свое выражение, в частности, в создании в самое недавнее время журнала «Mathematical Systems Theory» («Математическая теория систем»).

Тем временем развивалось и другое современное направление научного исследования. В 1948 г. вышла в свет «Кибернетика» Норберта Винера, которая обобщила и подвела итоги научных достижений того времени в вычислительной технике, теории информации и теории саморегулирующихся устройств. Тот факт, что три фундаментальных исследования — «Кибернетика» Н. Винера (1948) [92], теория информации К. Шеннона и У. Уивера (1949) [78] и теория игр Дж. фон Неймана и О. Моргенштерна (1944) [63] — появились почти одновременно, представлял собой, конечно, одно из совпадений, которые случаются, однако, лишь тогда, когда идеи витают в воздухе. Винеровские кибернетические понятия, в частности понятия обратной связи и информации, далеко выходят за пределы техники; они приложимы к явлениям биологии и социологии. Нельзя сказать, что кибернетика возникла на пустом месте. Одним из ее краеугольных камней было кантоновское понятие гомеостазиса. Менее широко известно, что детальные модели обратной связи для физиологических явлений были разработаны немецким физиологом Рихардом Вагнером в 20-х годах [89], швейцарцем, нобелевским лауреатом В. Р. Гессом [44] [45] и Эрнстом фон Хольстом в работе «Reafferenzprinzip» («Принцип обратной афферентации»). Однако своей огромной популярностью в науке, технике и общественном мнении кибернетика обязана, конечно, Винеру и провозглашенной им идее о второй промышленной революции.

Тесная связь кибернетики и системных исследований хорошо показана в программном заявлении Л. Франка на открытии конференции по кибернетике в 1948 г.: «На протяжении долгого времени понятия целенаправленного поведения и телеологии ассоциировались с таинственной способностью к самосовершенствованию, или достижению цели, или с конечной причиной, обычно сверхчеловеческого или сверхъестественного происхождения. Для того чтобы продвинуться в изучении явлений, научное мышление должно было отвергнуть такую веру в цель и все телеологические понятия ради строго механистического и детерминистского взгляда на природу. Эта механистическая концепция прочно укрепилась после того, как было доказано, что в основе Вселенной лежит действие безликих частиц, движущихся наугад, беспорядочным образом. Ввиду множественности этих частиц возникают порядок

и регулярность статистического характера... Неоспоримый успех этих понятий и методов в физике и астрономии, а позже и в химии задал линию развития для биологии и физиологии. Этот подход к проблемам живых организмов был усилен аналитической предрасположенностью западноевропейской культуры и специфической используемых нами языков. Наши исследовательские традиции и наши научные языки со строгими значениями их терминов побуждают нас подходить ко всему, что мы изучаем, как к составленному из отдельных дискретных частей или факторов, которые мы должны попытаться изолировать и рассматривать как потенциальные причины. Иначе говоря, в этом случае мы имеем дело с проблемами анализа отношения двух переменных. Сегодня мы являемся свидетелями поисков новых научных подходов, новых и более многогранных понятий и методов, позволяющих рассматривать организм и личность как целое. Понятие телеологического механизма, в каких бы различных терминах оно ни выражалось, представляет собой попытку избавиться от этих устаревших формулировок, которые теперь нам кажутся неадекватными, и создать новые и более плодотворные концепции и более эффективную методологию для изучения саморегулирующихся процессов, самоориентирующихся систем и организмов и самонаправляющихся личностей. Таким образом, термины „обратная связь“, „сервомеханизм“, „круговая система“, „круговой процесс“ следует рассматривать как различные, но эквивалентные выражения одной и той же основной концепции» [37].

В заключение настоящего раздела статьи мы хотим обратить внимание на ряд получивших хождение ошибочных формулировок и неверных интерпретаций. Так, Бакли (Buckley [26; стр. 36]) утверждает, что «современную теорию систем, хотя она и выглядит как появившаяся de novo из достижений последней войны, можно считать кульминационным пунктом широкого сдвига в научной перспективе, происходящего в последние столетия». Вторая часть этой фразы справедлива, первая — нет; теория систем не «появилась из достижений последней войны», а уходит своими корнями, как мы уже писали об этом, глубоко в историю, и причины, приведшие к ее созданию, определяются не производством средств вооружения и связанным с ним развитием техники. Ошибочно также считать, что «теория систем появилась из последних достижений в исследовании технических систем» (Shaw [79]), исключая некоторый частный смысл этого утверждения.

Теория систем часто отождествляется с кибернетикой и теорией управления. Это опять-таки неверно. Кибернетика как теория механизмов управления в технике и природе, основанная на понятиях информации и обратной связи, есть только часть общей теории систем; кибернетические системы — частный, хотя и важный случай систем.

3. Различные направления в разработке теории систем

В наше время, когда любое новшество, каким бы тривиальным оно ни было, провозглашается как новая «революция», нужно с большой осторожностью использовать этот термин для характеристики тех или иных научных направлений. Понятие «научная революция» можно осознанно применять лишь в том случае, если дать ему строгое операциональное определение.

Т. Кун в своей книге «Структура научных революций» [54] специфику научных революций видит в появлении новых концептуальных схем, или парадигм. Такие парадигмы выдвигают на передний план те аспекты науки, которые ранее не замечались, или не осознавались, или даже подавлялись «нормальной» наукой, т. е. наукой, общепринятой и практикуемой в данное время. Следовательно, в периоды научных революций происходят сдвиги в исследуемых проблемах и изменение правил научной деятельности, которые можно сравнить со сдвигами в воспринимаемых гештальтах в известных психологических экспериментах, когда, например, вместо чашки видят два профиля или вместо кролика — утку. Понятно, что в такие критические периоды особое значение приобретает философский анализ, необходимость которого не осознается в периоды роста «нормальной» науки. Ранние версии новой парадигмы в большинстве случаев являются незрелыми, позволяют решать очень немногие проблемы, причем решения, даваемые в этот период отдельным проблемам, далеки от совершенства. Новая парадигма реализуется, как правило, в существовании большого числа различных теорий и конкуренции между ними, при этом каждая теория ограничена как в отношении охватываемых ею проблем, так и создаваемых ею изящных решений. Но во всех случаях новая парадигма действительно охватывает новые проблемы, особенно те, которые раньше отвергались как «метафизические».

Эти критерии получены Куном на основе изучения «классических» революций в физике и химии, но они представляют превосходное описание изменений, вызванных происходящим в последнее время введением в науку организмических и системных понятий, и проливают свет на их достоинства и ограниченности. Учитывая это, совершенно не удивительно, что теория систем ныне включает в себя целый ряд подходов, различающихся по своему стилю и задачам.

Системная проблематика по существу сводится к ограничению применения традиционных аналитических процедур в науке. Обычно системные проблемы выражаются в подуметафизических понятиях и высказываниях, подобных, например, понятию «эмерджентная эволюция» или утверждению «целое больше суммы его частей», однако они имеют вполне определенное операциональное значение.

При применении «аналитической процедуры» некоторая исследуемая сущность разлагается на части, и, следовательно, впоследствии она может быть составлена или воссоздана из собранных вместе частей, причем эти процессы возможны как концептуально, так и материально. Это — основной принцип «классической» науки, который может осуществляться различными путями: разложением исследуемого явления на отдельные причинные цепи, поисками «атомарных» единиц в различных областях науки и т. д. Научный прогресс показывает, что эти принципы классической науки, впервые сформулированные Галилеем и Декартом, приводят к большим успехам при изучении широкой сферы явлений.

Применение аналитических процедур требует выполнения двух условий. Во-первых, необходимо, чтобы взаимодействие между частями данного явления отсутствовало или было бы пренебрежимо мало для некоторой исследовательской цели. Только при этом условии части можно реально, логически или математически «извлекать» из целого, а затем «собирать». Второе условие: отношения, описывающие поведение частей, должны быть линейными. Только в этом случае имеет место отношение суммативности, т. е. форма уравнения, описывающего поведение целого, такова же, как и форма уравнений, описывающих поведение частей; наложение друг на друга частных процессов позволяет получить процесс в целом, и т. д.

Для образований, называемых системами, т. е. состоящих из взаимодействующих частей, эти условия не выполняются. Прототипом описания систем являются системы дифференциальных уравнений, в общем случае нелинейных. Систему, или «организованную сложность», можно описать через существование «сильных взаимодействий» (Rapoport [69]) или взаимодействий, которые «нетривиальны» (Simon [80]), т. е. нелинейны. Методологическая задача теории систем, таким образом, состоит в решении проблем, которые носят более общий характер, чем аналитически-суммативные проблемы классической науки.

Как уже отмечалось, существуют различные подходы к таким проблемам. Мы намеренно используем довольно расплывчатое выражение — «подходы», поскольку они логически неоднородны, характеризуются различными концептуальными моделями, математическими средствами, исходными позициями и т. д. Они, однако, согласуются в том, что все они являются теориями систем. Если оставить в стороне подходы в прикладных системных исследованиях, таких, как системотехника, исследование операций, линейное и нелинейное программирование и т. д., то наиболее важными являются следующие подходы.

«Классическая теория систем» применяет классическую математику. Ее цель — установить принципы, применимые к системам вообще или к их определенным подклассам (например, к закрытым и открытым системам); разработать средства для их исследования

и описания и применить эти средства к конкретным случаям. Учитывая достаточную общность получаемых результатов, можно утверждать, что некоторые формальные системные свойства относятся к любой сущности, которая является системой (к открытым системам, к иерархическим системам и т. д.), даже если ее особая природа, части, отношения и т. д. не известны или не исследованы. Примером могут служить обобщенные принципы кинетики, применимые, в частности, к популяциям молекул или биологических существ, т. е. к химическим и экологическим системам; уравнения диффузии, используемые в физической химии и для анализа процесса распространения слухов; применение понятия устойчивого равновесия и моделей статистической механики к транспортным потокам; аллометрический анализ биологических и социальных систем и т. д.

Использование вычислительных машин и моделирование. Системы дифференциальных уравнений, применяемые для «моделирования» или спецификации систем, обычно требуют много времени для своего решения, даже если они линейны и содержат немного переменных; нелинейные системы уравнений разрешимы только в некоторых частных случаях. По этой причине с использованием вычислительных машин открылся новый подход к системным исследованиям. Дело заключается не только в значительном облегчении необходимых вычислений, которые иначе потребовали бы недопустимых затрат времени и энергии, и замене математической изобретательности заранее установленными последовательностями операций. Важно еще и то, что при этом открывается доступ в такие области, где в настоящее время отсутствует соответствующая математическая теория и нет удовлетворительных способов решения. Так, с помощью вычислительных машин могут анализироваться системы, по своей сложности далеко превосходящие возможности традиционной математики; с другой стороны, вместо лабораторного эксперимента можно воспользоваться моделированием на вычислительной машине и построенная таким образом модель затем может быть проверена в реальном эксперименте. Таким способом Б. Гесс (Hess, 1968), например, рассчитал 14-звенную цепь реакций гликолиза в клетке на модели, содержащей более 100 нелинейных дифференциальных уравнений. Подобный анализ стал обычным делом в экономических разработках, при исследовании рынка и т. д.

Теория ячеек (compartment theory). Одним из аспектов системных исследований, который следует выделить, поскольку эта область разработана чрезвычайно подробно, является теория ячеек (Rescigno and Segre [73]), изучающая системы, составленные из подъединиц с определенными граничными условиями, причем между этими подъединицами имеют место процессы переноса. Такие ячейные системы могут иметь, например, «цепную» или «сосковую» структуру (цепь ячеек или центральную ячейку, сооб-

шающуюся с рядом периферийных ячеек). Вполне понятно, что при наличии в системе трех и более ячеек математические трудности становятся чрезвычайно большими. В этом случае анализ возможен лишь благодаря использованию преобразований Лапласа и аппарата теорий сетей и графов.

Теория множеств. Общие формальные свойства систем и формальные свойства закрытых и открытых систем и т. д. могут быть аксиоматизированы в языке теории множеств (Masarović [60]; Массиа [58]). По математическому изяществу этот подход выгодно отличается от более грубых и специализированных формулировок «классической» теории систем. Связи аксиоматизированной теории систем с реальной проблематикой системных исследований пока выявлены весьма слабо.

Теория графов. Многие системные проблемы относятся к структурным и топологическим свойствам систем, а не к их количественным отношениям. В этом случае используется несколько различных подходов. В теории графов, особенно в теории ориентированных графов (диграфов), изучаются реляционные структуры, представляемые в топологическом пространстве. Эта теория применяется для исследования реляционных аспектов биологии (Rashevsky [70] [71]; Rosen [74]). В математическом смысле она связана с матричной алгеброй, по своим моделям — с тем разделом теории ячеек, в котором рассматриваются системы, содержащие частично «проницаемые» подсистемы, а вследствие этого — с теорией открытых систем.

Теория сетей в свою очередь связана с теориями множеств, графов, ячеек и т. д. Она применяется к анализу таких систем, как нервные сети (например, Rapoport [66]).

Кибернетика является теорией систем управления, в основе которых лежит связь (передача информации) между системой и средой и внутри системы, а также управление (обратная связь) функциями системы относительно среды. Как уже говорилось, кибернетические модели допускают широкое применение, но их нельзя отождествлять с теорией систем вообще. В биологии и других фундаментальных науках кибернетические модели позволяют описывать формальную структуру механизмов регуляции, например, при помощи блок-схем и графов потоков. Использование кибернетических моделей позволяет установить структуру регуляции системы даже в том случае, когда реальные механизмы остаются неизвестными и система представляет собой «черный ящик», определяемый только его входом и выходом. Таким образом, одна и та же кибернетическая схема может применяться к гидравлическим, электрическим, физиологическим и т. д. системам. Тщательно разработанная техническая теория сервомеханизмов применяется к естественным системам в ограниченном объеме [4] [47] [61].

Теория информации в смысле К. Шеннона и У. Уивера [78] опирается на понятие информации, математическое выражение для которой изоморфно выражению для негэнтропии в термодинамике. Считается, что понятие информации можно использовать в качестве меры организации [65]. Хотя теория информации имеет большое значение для техники связи, ее применения в науке до сих пор весьма незначительны. Главной проблемой остается выяснение отношения между информацией и организацией, между теорией информации и термодинамикой.

Теория автоматов представляет собой теорию абстрактных автоматов, имеющих вход, выход, иногда способных действовать методом проб и ошибок и обучаться. Общей моделью теории автоматов является машина Тьюринга, которая представляет собой абстрактную машину, способную печатать (или стирать) на ленте конечной длины цифры 1 и 0. Можно показать, что любой сколь угодно сложный процесс может моделироваться машиной Тьюринга, если этот процесс можно выразить конечным числом операций. В свою очередь то, что возможно логически (т. е. в алгоритмическом символизме), может также быть сконструировано — в принципе, но не всегда практически — автоматом (т. е. алгоритмической машиной).

Теорию игр [63], хотя она и несколько отличается от других рассмотренных системных подходов, все же можно поставить в ряд наук о системах. В ней рассматривается поведение «рациональных» игроков, пытающихся достичь максимальных выигрышей и минимальных потерь за счет применения соответствующих стратегий в игре с соперником (или природой). Следовательно, теория игр по существу рассматривает «системы», включающие антагонистические «силы».

Теория решений является математической теорией, изучающей условия выбора между альтернативными возможностями.

Теория очередей рассматривает оптимизацию обслуживания при массовых запросах.

Несмотря на неоднородность и явную неполноту проведенного рассмотрения, отсутствие достаточной четкости в различении моделей (например, моделей открытой системы, цепи обратной связи и т. д.) и математических формализмов (например, формализмов теорий множеств, графов, игр), такое перечисление позволяет показать, что существует целый ряд подходов к исследованию систем, а некоторые из них обладают мощными математическими методами. Системные исследования означают прогресс в анализе проблем, которые ранее не изучались, считались выходящими за пределы науки или чисто философскими.

Хорошо известно, что проблема соответствия между моделью и реальностью чрезвычайно сложна. Нередко мы располагаем тщательно разработанными математическими моделями, но остается неясным, как можно применять их в конкретном случае. Для

многих фундаментальных проблем вообще отсутствуют подходящие математические средства. Чрезмерные ожидания привели в последнее время к разочарованию. Так, например, кибернетика продемонстрировала свое влияние не только в технике, но и в фундаментальных науках; построила модели ряда конкретных явлений, показала научную правомерность телеологического объяснения и т. д. Тем не менее кибернетика не создала нового широкого «мировоззрения», оставаясь скорее расширением, чем заменой механистической концепции (см. [25]). Теория информации, математические основы которой детально разработаны, не смогла построить интересных приложений в психологии и социологии. Большие надежды возлагались на применение теории игр к вопросам войны и политики, но едва ли можно считать, что она улучшила политические решения и положение дел в мире. Эту неудачу можно было ожидать, учитывая, как мало существующие державы походят на «рациональных» игроков теории игр. Понятия и модели равновесия, гомеостазиса, регулирования и т. д. приложимы для описания процессов функционирования систем, но они неадекватны для анализа явлений изменения, дифференциации, эволюции, уменьшения энтропии, творчества и т. д. Это осознал Кэннон, когда он допускал кроме гомеостазиса еще и «гетеростази́с», характеризующий такие явления. Теория открытых систем широко применяется для описания явлений биологии (и техники), но необходимо предостеречь против неосмотрительного распространения ее на те области, для которых она не предназначена. Вполне очевидно, что отмеченные ограниченности системных научных подходов, существующих едва ли больше двадцати—тридцати лет, совершенно естественны. В конечном счете разочарование, о котором мы только что говорили, объясняется применением моделей, полезных в определенных аспектах, к проблемам метафизического и философского порядка.

Несмотря на то, что математические модели обладают важными достоинствами — четкостью, возможностью строгой дедукции, проверяемостью и т. д., не следует отказываться от использования моделей, сформулированных в обычном языке.

Вербальная модель лучше, чем отсутствие модели вообще или использование математической модели, которая при насильственном насаждении фальсифицирует реальность. Многие теории, получившие огромное влияние в науке, являются нематематическими по своему характеру (например, психоаналитическая теория), а в других случаях лежащие в их основе математические конструкции осознаются позднее и охватывают лишь отдельные аспекты соответствующих эмпирических данных (как в теории отбора).

Математика, по сути дела, сводится к установлению алгоритмов, которые более точны, чем алгоритмы обычного языка. История науки свидетельствует о том, что описание проблем на обычном языке часто предшествует их математической формулировке, т. е.

отысканию алгоритма. Приведем несколько хорошо известных примеров: знаки, используемые для обозначения чисел и процесса счета, эволюционировали от слов естественного языка к римским цифрам (полувербальным, несовершенным, полуалгебраическим) и далее — к арабской численной символике, в которой важное значение имеет положение знака; уравнения первоначально формулировались в словесной форме, затем — с использованием примитивного символизма, который мастерски применяли Диофант и другие основатели алгебры, и, наконец, в современном символизме; для многих теорий, например для теории Дарвина, определение математических основ происходит значительно позднее их создания. Вероятно, лучше иметь сначала какую-то нематематическую модель со всеми ее недостатками, но охватывающую некоторый незамеченный ранее аспект исследуемой реальности и позволяющую надеяться на последующую разработку соответствующего алгоритма, чем начинать со скороспелых математических моделей.

Таким образом, модели, выраженные в обычном языке, оставляют себе место в теории систем. Идея системы сохраняет значение даже там, где ее нельзя сформулировать математически или где она остается скорее «направляющей идеей», чем математической конструкцией. Например, у нас может не быть удовлетворительных системных понятий для социологии; однако само понимание того, что социальные сущности являются системами, а не суммами социальных атомов, или того, что история имеет дело с системами (хотя бы и плохо определенными), называемыми цивилизациями, которые подчиняются общим для систем принципам, подразумевает важную переориентацию в рассматриваемых научных областях.

Как мы видели ранее, в рамках «системного подхода» существуют и механистические, и организмические тенденции и модели, пытающиеся познать системы либо с помощью таких понятий, как «анализ», «линейная (включая круговую) причинность», «автомат» и т. д., либо при помощи понятий «целостность», «взаимодействие», «динамика» и им подобных. Эти два типа моделей не исключают друг друга и даже могут использоваться для описания одних и тех же явлений (см. [56]). Вместе с тем возникает вопрос, какая же точка зрения является более общей и фундаментальной, что по сути дела сводится к решению вопроса о машине Тьюринга как об абстрактном автомате.

Одна из возникающих в этой связи проблем — это проблема «громadных» («астрономических») чисел. Фундаментальное положение теории автоматов заключается в том, что события, которые можно описать конечным числом «слов», могут быть реализованы автоматом [64]. Здесь существенное значение имеет термин «конечный». По определению, автомат может реализовать конечные серии событий (сколь угодно большие), но не бесконечные. Что

произойдет, однако, если требуемое число шагов «астрономически» велико, т. е. не бесконечно, но превосходит, например, число частиц во Вселенной (оцениваемое величиной порядка 10^{80}) или число событий, возможных за время существования Вселенной или некоторых ее частей? Такие «астрономические» числа встречаются во многих системных проблемах, связанных с экспоненциальными, факториальными и другими взрывоподобно возрастающими функциями. Они встречаются даже при изучении систем с умеренным числом компонентов, взаимодействием между которыми нельзя пренебречь (ср. [3]). Для того чтобы «отобразить» их в машине Тьюринга, потребовалась бы столь большая лента, которая превышает наши не только практические, но и физические возможности.

Рассмотрим, например, ориентированный граф, состоящий из N вершин (Rapport [67]). Между каждой парой вершин может существовать или не существовать связь (две возможности). Следовательно, имеется $2^{N(N-1)}$ различных способов связать N вершин. Если N равно только 5, то число способов связи вершин превосходит один миллион. При $N = 20$ число способов связи превышает предполагаемое число атомов во Вселенной. Подобные же проблемы возникают, например, относительно возможного числа связей между нейронами (число нейронов в мозге человека оценивается величиной порядка 10 миллиардов) и при анализе генетического кода (Perge [72]). В этом коде существует минимум 20 «слов» (нуклеотидных триплетов), образованных различными аминокислотами; код может содержать около миллиона единиц. Это дает $20^{1\,000\,000}$ возможностей. Предположим, что лапласовский демон должен найти функциональное значение каждой комбинации, для чего ему пришлось бы провести именно такое число исследований. Однако во Вселенной существует только 10^{80} атомов и организмов. Предположим (Perge, 1962), что в некоторый момент на Земле имеется 10^{30} клеток. Если мы допустим далее, что каждую минуту возникает новое поколение клеток, то при возрасте Земли, равном 15 миллиардам лет (10^{16} минут), полное число клеток равно 10^{46} . Для того чтобы гарантировать получение максимального числа, допустим, что на 10^{20} планетах есть жизнь. Тогда с уверенностью можно считать, что во всей Вселенной было не более чем 10^{86} живых существ — очень большое число, но далеко не «астрономическое». Или другой пример [3]. Рассмотрим телевизионный экран (бесконечно упрощенный по сравнению с реальным), состоящий из 400 ламп, т. е. квадратную матрицу 20×20 лампочек. Число образов, которые могут появиться на таком экране, равно $2^{10^{120}}$, т. е. число порядка единицы с последующими 10^{120} нулями. Однако поскольку число атомов во Вселенной равно только 10^{80} , то упомянутое число невозможно записать, даже если бы каждая цифра в нем выражалась одним атомом.

С другой стороны, согласно Харту (Hart [42]), человеческое творчество можно рассматривать как новую комбинацию из ранее

существовавших элементов. Если это так, то возможность новых изобретений возрастает, грубо говоря, как функция числа возможных размещений и сочетаний от числа имеющихся элементов, т. е. это возрастание является факториалом от числа элементов. В общем случае пределы автоматов становятся очевидными, если регуляция в системе направлена против «произвольного» числа нарушений, а не против одного нарушения или ограниченного их числа, т. е. против неопределенного числа ситуаций, которые невозможно «предвидеть». Этот случай широко представлен в эмбрионной (например, эксперименты Дриша) и нейронной (например, эксперименты Лешли) регуляциях. Регуляция здесь является результатом взаимодействия многих компонентов (см. [46]). Фон Пейман считает, что это, по-видимому, связано с тенденцией к «самовосстановлению» организмических систем в отличие от технических, или, выражаясь более современно, с тем, что они являются открытыми системами.

Совершенно очевидно из предшествующего рассмотрения, что именно эти свойства систем невыразимы в абстрактных моделях автомата, таких, как машина Тьюринга. Таким образом, механистическая концепция, на что давно указывали виталисты (например, Дриш), даже в ее современной и обобщенной форме (автомат Тьюринга) терпит крах при «столкновении» с регуляциями, направленными против «произвольных» нарушений, а также с событиями, в которых требуется «астрономическое» число шагов.

Проведенное рассуждение имеет определенное отношение к понятию, являющемуся, несомненно, фундаментальным для общей теории систем, а именно — к понятию *иерархического порядка*. Сейчас мы «видим» Вселенную как огромную иерархию, включающую элементарные частицы, атомные ядра, атомы, молекулы, высокомолекулярные соединения, изобилие структур между молекулами и клетками [90], клетки организма и индивидуальные организации. Такая иерархия проявляется как в «структурах», так и в «функциях». В конечном счете структура (т. е. порядок частей) и функция (т. е. порядок процессов) могут быть одним и тем же: в физическом мире вещество превращается в движение энергии, а в биологическом мире структуры являются выражением определенных процессов. В настоящее время система физических законов относится главным образом к области атомов и молекул (и их совокупностям в макрофизике). Очевидно, что эта область является лишь частью более широкого спектра. Законы организации и организующие силы в субатомной и супермолекулярной областях изучены недостаточно. Происходит вторжение как в субатомный мир (физика высоких энергий), так и в супермолекулярный (физика высокомолекулярных соединений), но этот процесс, по-видимому, находится в своей начальной стадии. Это проявляется, с одной стороны, в нынешней неразберихе с элементарными частицами и, с другой стороны — в отсутствии в настоящее время

физического понимания структур, видимых под электронным микроскопом, и в отсутствии «грамматики» генетического кода.

Общая теория иерархического порядка, очевидно, будет важнейшей составной частью общей теории систем. Принципы иерархического порядка могут быть сформулированы в вербальном языке [53]; уже существуют некоторые полуматематические идеи на этот счет, связанные с матричной теорией [80], и соответствующие формулировки в терминах математической логики [94]. Большое значение, видимо, будет иметь исчисление иерархии. Проблема иерархического порядка тесно связана с вопросами эволюции, ароморфоза и меры организации; последнюю, видимо, невозможно адекватно выразить ни в энергетических терминах (энтропия), ни в терминах теории информации (биты). В конечном счете динамика и иерархический порядок могут представлять собой одно и то же.

Таким образом, существует целый ряд моделей систем, более или менее развитых и разработанных. Некоторые понятия, модели и принципы общей теории систем, такие, как иерархический порядок, прогрессирующая дифференциация, обратная связь, системные характеристики, определяемые теориями множеств и графов, и т. д., широко применимы к материальным, психологическим и социокультурным системам; другие, как, например, понятие открытой системы, определяемой обменом веществ, ограничены определенными подклассами систем. Как показывает практика прикладного анализа систем применение различных моделей систем зависит от специфики рассматриваемых в том или ином случае проблем и соответствующих операциональных критериев.

ЛИТЕРАТУРА

1. A s c k o f f R. L. Games, decision, and organizations.— «General Systems», v. IV, 1959, p. 145—150.
2. A f a n a s j e w W. G. Über Bertalanffys «organismische Konzeption».— «Deutsche Zeitschrift für Philosophie». Bd. 10, 1962, S. 1033—1046.
3. A s h b y W. R. Constraint Analysis of Many-Dimensional Relation. — University of Illinois. Electrical Engineering Research Laboratory, Technical Report, N 2, May 1964, Urbana.
4. B a y l i s s L. E. Living Control Systems. San Francisco, Freeman, 1966.
5. B e c k n e r M. The Biological Way of Thought. New York, Columbia University Press, 1959.
6. B e n d m a n n A. Die «organismische Auffassung» Bertalanffys.— «Deutsche Zeitschrift für Philosophie», Bd. 11, 1963, S. 216—222.
7. B e n d m a n n A. L. von Bertalanffys organismische Auffassung des Lebens in ihren philosophischen Konsequenzen. Jena, Gustav Fischer Verlag, 1967.
8. B e r n a l J. D. Science in History. 2nd ed. London, Watts, 1957.
9. B e r t a l a n f f y L. von. Nikolaus von Kues. München, G. Müller, 1928.

10. Bertalanffy L. von. *Modern Theories of Development*. 1st ed. — 1928. Transl. by J. H. Woodger. New York, Harper Torchbooks, 1962.
11. Bertalanffy L. von. *Theoretische Biologie*, Bd. I—II. Berlin, Borntraeger, 1932, 1942; 2nd ed. Bern, Francke, 1951.
- 12 Bertalanffy L. von. *Das Weltbild der Biologie*. — Arbeitskreis Biologie. — «Weltbild und Menschenbild». S. Moser (Ed.). Salzburg, Tyrolia Verlag, 1948.
13. Bertalanffy L. von. *Zu einer allgemeinen Systemlehre*. — «Blätter für deutsche Philosophie», Bd. 18, N 3/4, 1945. Extract in «Biologia Generalis», v. 19, 1949, p. 114—129.
14. Bertalanffy L. von. *Das biologische Weltbild*. Bern, Francke, 1949. English: *Problems of Life*. New York, Harper Torchbooks, 1960.
15. Bertalanffy L. von. *An Outline of General System Theory*. — «British Journal for Philosophy of Science», v. I, N 2, 1950, p. 139—164.
16. Bertalanffy L. von. *General System Theory*. — «General Systems», 1956, v. 1.
17. Bertalanffy L. von. *General System Theory— A Critical Review*. — «General Systems», v. VII, 1962, p. 1—20.
18. Bertalanffy L. von. *General System Theory and Psychiatry*. — «American Handbook of Psychiatry», v. 3, S. Arieti (Ed.). New York, Basic Books, 1966, p. 705—721.
19. Bertalanffy L. von. *Robots, Men and Minds*. New York, Braziller, 1967.
20. Bertalanffy L. von., Hempel C. G., Jonas R. E. H. *General System Theory: A New Approach to Unity of Science*. — «Human Biology» v. 23, 1951, p. 302—361.
- 21 Blandino G. S. J. *Problemi e dottrine di biologia theorica*. Bologna, Minerva Medica, 1960.
22. Boffey P. M. *Systems Analysis: No Panaces for Nation's Domestic Problems*. — «Science», v. 158, 1967, p. 1028—1030.
23. Boguslaw W. *The New Utopians*. New York, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1965.
24. Boulding K. D. *The Organizational Revolution*. New York, Harper 1953.
25. Bronowski J. *Review of «Brains, Machines and Mathematics» by M. A. Arbib*. — «Scientific American», v. 130—134, 1964.
26. Buckley W. (Ed.). *Modern Systems Research for the Behavioural Scientist*. Chicago, Aldine Publ. Co., 1967.
27. Cannon W. B. *Organization for Physiological Homeostasis*. — «Physiological Review», 1929, v. 9, p. 397.
28. Cannon W. B. *The Wisdom of the Body*. New York, Norton, 1932.
29. Carter L. J. *Systems Approach: Political Interest Rises*. — «Science», v. 153, 1966, p. 1222—1224.
30. Commoner B. *In Defense of Biology*. — «Science», v. 133, 1961, p. 1745—1748.
31. De-Shalit A. *Remarks on Nuclear Structure*. — «Science», v. 153, 1966, p. 1063—1067.
32. Dobzhansky T. *Are Naturalists Old-Fashioned?* — «American Naturalist», v. 100, 1966, p. 541—550.
33. Dubos R. *Environmental Biology*. — «Bioscience», v. 14, 1964, p. 11—14.
34. Dubos R. *We are Slaves to Fashion in Research!* — «Scientific Research», 36—37, January, 1967, p. 54.

35. E l s a s s e r W. Atom and Organism. Princeton, Princeton University Press, 1966.
36. F l a n n e r y K. V. Culture History v. Cultural Process: A debate in American archaeology. — «Scientific American», v. 217, 1967, p. 119—122.
37. F r a n k L. K., H u t c h i n s o n G. E., L i v i n g s t o n e W. K., M c C u l l o c h W. S., W i e n e r N. Teleological mechanisms. — «Transactions». New York. Academy of Sciences, v. 50, 1948.
38. G i l b e r t E. N. Information Theory after 18 years. — «Science», v. 152, 1966, p. 320—326.
39. G r a y W., R i z z o N. D., D u h l F. D. (Eds). General Systems Theory and Psychiatry. New York, Little Brown. In press.
40. G r i n k e r R. R. (Ed.). Toward a Unified Theory of Human Behaviour. 2nd ed. New York, Basic Books, 1967.
41. H a h n E. Aktuelle Entwicklungstendenzen der soziologischen Theorie. — «Deutsche Zeitschrift für Philosophie», Bd.15, N 2,1967, S. 178—191.
42. H a r t H. Social Theory and Social Change. — «Symposium on Sociological Theory». L. Gross (Ed.). Evanston, Row, Paterson, 1959, p. 196—238.
43. H e m p e l C. G. Aspects of Scientific Explanation and other Essays in the Philosophy of Science. New York, Free Press, 1965.
44. H e s s W. R. Die Motorik als Organisationsproblem. — «Biologisches Zentralblatt», Bd. 61, 1941.
45. H e s s W. R. Biomotorik als Organisationsproblem. I — II. — «Naturwissenschaften», Bd. 30, 1942, S. 441—448, 537—541.
46. J e f f r i e s L. A. Cerebral Mechanisms in Behaviour. The Hixon Symposium. New York, Wiley, 1951.
47. K a l m u s H. (Ed.). Regulation and Control in Living Systems. New York, Wiley, 1966.
48. K a m a r ý t J. Die Bedeutung der Theorie des offenen Systems in der gegenwärtigen Biologie. — «Deutsche Zeitschrift für Philosophie», Bd. 9, 1961, S. 2040—2059.
49. K a m a r ý t J. Ludwig von Bertalanffy a syntetické směry v západní biologii. — «Filosofické problémy moderní biologie». J. Kamarýt (Ed.). Prag, Československá Akademie Věd. 1963, str. 60—105.
50. К а н а е в И. И. Очерки из истории проблемы морфологического типа от Дарвина до наших дней. М.—Л., 1966.
51. K ö h l e r W. Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand. Erlangen, 1924.
52. K ö h l e r W. Zum Problem der Regulation. — «Roux' Archiv», Bd. 112. 1927.
53. K o e s t l e r A. The Ghost in the Machine. London, Hutchinson, 1967.
54. K u h n T. S. The Structure of Scientific Revolutions. Chicago, University of Chicago Press, 1962.
55. Л е в а д а Ю. А. Кибернетические методы в социологии. — «Коммунист», 1965, № 14.
56. L o c k e r A. Reaktionen metabolisierender Systeme auf experimentelle Beeinflussung, Reiz und Schädigung. — «Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen», Bd. 9, 1964, S. 38—107.
57. L o t k a A. J. Elements of Physical Biology. 1st ed. 1925. 2nd ed. — New York, Dover, 1956.
58. M a c c i a E. S., M a c c i a G. S. Development of Educational Theory Derived from Three Educational Theory Models. Project 5-0638. Columbus, Ohio, Ohio State Research Foundation, 1966.

59. M e n n i n g e r K., M a y m a n M., P r u y s e r P. The Vital Balance. New York, Viking Press, 1963.
60. M e s a r o v i ć M. D. Foundations for General Systems Theory. — «Views on General Systems Theory». M. D. Mesarović (Ed.). New York, Wiley, 1964, p. 1—24 (русский перевод—«Общая теория систем». М., «Мир», 1966).
61. M i l s u m J. H. Biological Control Systems Analysis. New York, McGraw Hill, 1966.
62. N a g e l E. The Structure of Science. London, Routledge and Kegan Paul, 1961.
63. N e u m a n n J. von, M o r g e n s t e r n O. Theory of Games and Economic Behaviour. Princeton, New York, Princeton University Press, 1947.
64. N e u m a n n J. von. The general and logical theory of automata. — «Cerebral Mechanisms in Behaviour. The Hixon Symposium». A. Jeffried (Ed.). New York, Wiley, 1951.
65. Q u a s t l e r H. (Ed.). Information Theory in Biology. Urbana, University of Illinois Press, 1955.
66. R a p o p o r t A. Outline of a probabilistic approach to animal sociology. I—III. — «Bulletin of Mathematical Biophysics», v. 11, p. 183—196, 273—281; v. 12, p. 7—17; 1949—1950.
67. R a p o p o r t A. Uses and Limitations of Mathematical Models in Social Sciences. — «Symposium on Sociological Theory». L. Gross (Ed.). Evanston, Row, Paterson, 1959, p. 348—372.
68. R a p o p o r t A. Critiques of Game Theory. — «Behavioral Science», v. 4, 1959, p. 49—66.
69. R a p o p o r t A. Mathematical Aspects of General Systems Theory. — «General Systems», v. XI, 1966, p. 3—11.
70. R a s h e v s k y N. Mathematical Biophysics. 2nd ed. Chicago, University of Chicago Press, 1948.
71. R a s h e v s k y N. Topology and life. In search of general mathematical principles in biology and sociology. — «General Systems», v. I, 1956, p. 123—138.
72. R e p g e R. Grenzen einer informationstheoretischen Interpretation des Organismus. — «Giessener Hochschulblätter», Bd. 6, N 3/4, 1962.
73. R e s c i g n o A., S e g r e G. Drug and Tracer Kinetics. Waltham, Blaisdell, 1966.
74. R o s e n R. A Relational Theory of biological systems. I—II. — «General Systems», v. V, 1960, p. 29—35, 35—43.
75. R u e s c h J. Epilogue. — «Toward A Unified Theory of Human Behaviour». R. R. Grinker (Ed.). 2nd ed. New York, Basic Books, 1967, p. 376—390.
76. S c h a f f n e r K. F. Antireductionism and Molecular Biology. — «Science», v. 157, 1967, p. 644—647.
77. S c o t t W. G. Organization Theory: An overview and an appraisal. — «Organizations: Structure and Behaviour». J. A. Litterer (Ed.). New York, Wiley, 1963, p. 13—26.
78. S h a n n o n C., W e a v e r W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana, University of Illinois Press, 1949 (русский перевод: К. Э. Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963).
79. S h a w L. System Theory. — «Science», v. 149, 1965, p. 1005.
80. S i m o n H. A. The architecture of complexity. — «General Systems», v. X, 1965, p. 63—76.

81. S w i t h V. E. (Ed.). *Philosophical Problems in Biology*. New York, St. John's University Press, 1966.
82. S o r o k i n P. A. *Contemporary Sociological Theories*. 1st ed. — 1928. 2nd ed.—New York, Harper Torchbooks, 1964.
83. S o r o k i n P. A. *Sociological Theories of Today*. New York, London, Harper and Row, 1966.
84. S p e n g l e r O. *Der Untergang des Adendlandes*. München, Beck, 1919, 1921 (русский перевод: О. Ш п е н г л е р. *Закат Европы*. М., 1926).
85. S z e n t - G y ö r g y i A. *Teaching and Expanding Knowledge*.—«Science», v. 146, 1964, p. 1278—1279.
86. T o y n b e e A.A. *Study of History*. Vol. XII. *Reconsiderations* (1961). New York, Galaxy, 1964.
87. T r i b i ñ o S. E. M. G. de. *Una Nueva Orientación de la Filosofía Biológica: El Organicismo de Luis Bertalanffy*. Primer premio «Miguel Cané». Buenos Aires, Cursos y Conferencias, 1946.
88. U n g e r e r E. *Die Wissenschaft vom Leben. Eine Geschichte der Biologie*, Bd. III, Freiburg/München, Alber, 1966.
89. W a g n e r R. *Das Regelproblem in der Biologie*. Stuttgart, Thieme, 1954.
90. W i e s s P. *From Cell to Molecule*. — «The molecular Control of Cellular Activity». J. M. Allen (Ed.). New York, Toronto, London, 1962.
91. W h i t e h e a d A. *Science and Modern World*. 1st ed. — 1925. 2nd ed. — New York, Macmillan, 1953.
92. W i e n e r N. *Cybernetics*. New York, Wiley, 1948 (русское издание: Н. В и н е р. *Кибернетика*. М., 1958).
93. W o l f e H. B. *Systems Analysis and Urban Planning—the San Francisco Housing Simulation Model*.— «Transactions of the New York Academy of Sciences», Ser. II, v. 29, N 8, 1967, p. 1043—1049.
94. W o o d g e r J. H. *The «Concept of Organism» and the Relation between Embryology and Genetics*. I — III. — «Quarterly Review of Biology», v. 5/6, 1930/1931.

РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ*

АНАТОЛЬ РА ПО ПО Р Т

В данном докладе термин «система» будет употребляться во многих значениях в связи с многообразными концепциями, которые разными людьми связываются с «General System Theory» — «общей теорией систем». Сам термин «General System Theory» также страдает многозначностью. Его многозначность стала очевидной для меня, когда в связи с переводом настоящего доклада меня попросили разъяснить грамматическую структуру выражения «General System Theory». Многозначность английского языка с этой точки зрения общеизвестна. Это выражение может в равной степени означать «общую теорию систем» и «теорию общих систем». Мне кажется, что я тогда как-то ответил на поставленный передо мной вопрос, но, признаюсь, не помню — как. Теперь я понимаю, что никогда раньше не думал об этом. Я всегда думал о предмете этого доклада как о какой-то совокупности рассуждений, имеющих в основе некоторую ориентацию, а не как о теории в строгом значении этого слова, т. е. не как о совокупности теоретически полученных предложений. Я хотел бы подчеркнуть, что этот ориентирующий, а не теоретический аспект будет доминировать в данном докладе. Разнородность версий общей теории систем отражает разнородность подходов, а не различие точно фиксированных теоретических позиций.

Разнообразные подходы, представленные в общей теории систем, исходят из трех источников: из биологии, техники и математики. Общим моментом этих подходов является признание того, что перед лицом явно угрожающей ситуации, сложившейся в науке, необходимо перестроить исследовательские методы. А эта ситуация состоит в дезинтеграции исследовательских усилий в результате возникновения все большего числа специализированных

* Anatol Rapoport. Ujęcia ogólnej teorii układów. «Studia filozoficzne», 1963, № 1. Статья представляет собой стенограмму доклада, сделанного на заседании психометрической лаборатории ПАН 14 декабря 1961 г. Для настоящего издания текст статьи доработан автором. Перевод с польского Э. Г. Юдина.

научных дисциплин. Умножения специализированных дисциплин, очевидно, нельзя избежать, так как оно является результатом ускоренного темпа роста научного знания. Это знание может возрастать только благодаря специализации, поскольку емкость единичного мозга ограничена. Специализация сделала возможным быстрое увеличение знания, но ценой ослабления связи между учеными разных специальностей. Углубление исследований влечет за собой создание специальных исследовательских техник и специальных языков. По мнению некоторых ученых, этот процесс привел к тому, что мы оказались перед лицом почти такого же краха, как строители Вавилонской башни, ибо наука перестала быть благородным поприщем, участники которого объединены в общих поисках истины, и превратилась в пчелиные соты с изолированными одна от другой ячейками, каждая из которых занята небольшим числом жильцов, способных понимать только друг друга.

Конструктивное отношение к проблеме требует не только фиксирования нежелательной ситуации, но и размышления над способами ее улучшения. Можем ли мы представить себе спасительные средства против далеко зашедшей специализации в науке? Можем ли мы, например, представить себе появление ученых, которых можно было бы назвать «генералистами» и усилия которых уравнивали бы усилия множющихся специалистов? Какими должны быть эти «генералисты»? Ясно, что они не могут напоминать универсальные умы минувших эпох. Никто не может быть современным Аристотелем, Декартом, Лейбницем или Ломоносовым не только потому, что объем нынешних знаний слишком обширен, но и потому, что возникла пропасть между естественными науками и философией. Трудно представить себе, чтобы современная попытка создать философскую систему могла серьезно трактоваться как вклад в науку. Вполне очевидно, что такие всеобъемлющие «системы», относящиеся к сущности мироздания или «бытия», которые создавались раньше на базе метафизики, принадлежат прошлому. Любой принцип, претендующий на какую-либо всеобщность, может быть признан научным только в том случае, если он выведен из конкретных научных исследований, а не из интуитивных прозрений мудрецов.

Есть определенная группа наук, в которой такие общие принципы уже существуют. Я имею в виду группу физических наук. В них упоминавшееся мною взаимное разделение специалистов не является полным и окончательным. Это происходит потому, что все наше знание о движении неживой материи можно формально свести к небольшому числу законов физики. Поэтому если даже язык специалиста органической химии непонятен специалисту в области физики твердых тел, они оба знают, что их теории можно вывести из одного и того же комплекса законов, управляющих поведением элементарных частиц материи. Таким образом, наша

аналогия с восковыми сотами, по сути дела, не относится к ситуации в физических науках. Тут мы имеем дело скорее с «лабиринтом», в котором различные ходы связаны между собой, хотя иногда трудно найти дорогу от одного к другому.

По мере удаления от физических наук этот редукционизм становится все более затруднительным. Он еще возможен в некоторых отраслях биологических наук. Например, значительная часть современной физиологии опирается на прочные основы биофизики и биохимии. Однако, когда мы рассматриваем более общие аспекты биологических явлений, сведение их к физике и химии становится проблематичным. Здесь философское убеждение в возможности сведения уже не опирается на установленные факты и строгие выводы. Очевидно, не следует отказываться от исследования таких более общих аспектов только потому, что оказывается нарушенной линия редукции. Однако эти исследования требуют особого языка и особых предпосылок, т. е. особых понятий, а иногда даже специфических правил обоснования. Здесь уже не только по видимости (как в физике, где значение редукции сохраняется), но и по существу мы имеем дело с дезинтеграцией наук.

Перед лицом неизбежного на сегодня обрыва нити редукции при переходе от одного уровня исследования к другому возникает вопрос: не должны ли мы, стремясь к унификации науки, удовольствоваться более скромными целями, отказавшись от полного сведения науки к небольшому числу законов, управляющих движением материи? Нельзя ли было бы, например, открыть общие принципы отдельно на каждом из нескольких взаимно независимых, как это представляется, уровней знания, — скажем, одной системы принципов для биологических наук, другой — для психологических, третьей — для общественных и т. д.? Такая цель уже не раз ставилась. Можно указать здесь на общие принципы биологии, сформулированные Дж. Вуджером, а также на принимавшиеся основателями различных школ в экономической науке, социологии, психологии и т. д. попытки унификации этих наук при помощи более или менее четко сформулированных принципов. Если бы нужно было давать оценку плодотворности этих попыток унификации отдельных дисциплин, надо было бы сказать, что все они направлены на еще большее взаимное отделение наук. Разделение закрепляется принятием обособленной терминологии и методов. Надежды на *будущую* унификацию становятся все более туманными по мере того, как фактическое разделение наук становится разделением *de jure*.

Даже внутренняя унификация какой-либо одной науки — цель, к которой стремились различные научные школы, — часто иллюзорна, ибо строгость возникающих таким образом теоретических систем иногда только видимая и, во всяком случае, — не для всех убедительна. Хуже всего, когда мы имеем дело с видимой строгостью, например с чрезмерно формализованным языком, с много-

значным употреблением вновь созданных технических терминов, с подражанием математическому символизму и т. д., — тогда эти средства служат для украшения банальных трюизмов или туманных обобщений.

Чем же обусловлена огромная пропасть между блестящими достижениями физических наук, которые образуют комплекс систематизированных и взаимно связанных областей знания, заслуживающего доверия и позволяющего достигать столь больших успехов в прогнозировании и воздействии на действительность, и относительной бедностью достижений, обнаруживаемых нами после выхода за пределы физических наук и перехода через биологию (дисциплину относительно единую, но уже не столь строгую, как физические науки) к наукам, исследующим поведение? На этот вопрос часто дают следующий ответ: явления, которыми занимаются физические науки, относительно просты и могут быть исследованы изолированно. Развитие механики, термодинамики, электродинамики, оптики и т. д. свидетельствует об эффективности этого метода. Другими словами, утверждают, что успехи физики вытекают из того, что эта наука занимается организованной простотой, т. е. строго ограниченными и изолированными фрагментами мира, в которых известные законы действуют, как правило, аддитивно, независимо.

Это, очевидно, вполне соответствует действительности. Организованная простота в самом деле составляет традиционный предмет физики, а несложный характер отношений между исследуемыми таким образом объектами сделал возможным исчерпывающее познание этих отношений. Следует, однако, добавить, что организованная простота не является единственным предметом исследований в области физики. Другой предмет ее интересов составляет *беспорядочная сложность*. Беспорядочная сложность — это большая совокупность предметов, лишенная определенной структуры. Поскольку это понятие трудно определить строго, мы вынуждены прибегнуть к примерам. Огромное число частиц какого-либо газа, заключенного в некотором сосуде, дает пример беспорядочной сложности. Такая совокупность является сложной, поскольку включает большое число составных частей, и вместе с тем — беспорядочной, ибо между ее идентифицированными элементами не возникают определенные структурные отношения. Поэтому для описания такой «системы» и построения выводов относительно ее существенных свойств достаточно общих статистических методов. Благодаря этому очень «сложные» (в смысле включения большого числа элементов) системы могут быть исследованы также с помощью строгих методов математической физики, если отношения между элементами таких систем являются достаточно «хаотичными», чтобы можно было применять статистические методы (например, закон больших чисел) для выведения их общих свойств.

Таким образом, методы классической математической физики оказываются адекватными как там, где дело идет об организованной простоте, так и там, где мы сталкиваемся с беспорядочной сложностью. Вместе с тем эти методы явно подводят, когда речь идет об исследовании свойств *организованной сложности*. Биологические организмы как раз представляют собой типичный пример организованной сложности. Любое скопление частиц однородного газа ведет себя в резервуаре характерным для замкнутой в сосуде массы газа образом; напротив, наверняка не будет истиной, что перемешанные вещества, из которых состоит организм, будут иметь свойства организма и вести себя как организм. Чтобы создать организм, эти вещества должны быть связаны строго определенным образом. Организм организован, отсюда его название.

Здесь напрашивается мысль, что если бы строгие методы, столь плодотворные при исследовании очень простых систем и сложных, но лишенных определенной структуры систем, могли быть применены к сложным системам с фиксированной структурой, то был бы достигнут значительный прогресс в унификации знания. Эти методы сразу же могли бы найти применение в биологии в значительно большем объеме, чем до сих пор. Это как раз одна из тех идей, которые легли в основание «общей теории систем». До сих пор мы, вполне понятно, ничего не говорили о способе, посредством которого можно было бы применить строгие методы исследования к системам, являющимся одновременно сложными и организованными. Однако мы указали на главный мотив усилий, направленных на создание общей теории систем, которая призвана ликвидировать разрыв между теорией простых детерминированных систем (классической механикой) и теорией сложных систем, лишенных структуры (статистической механикой, термодинамикой), т. е. разрыв между организованностью и сложностью. Мотив этот является общим для биологов, специалистов в области техники и математиков; для биологов — поскольку биологические организмы, несомненно, являются примером организованной сложности; для специалистов в области техники — с точки зрения характерного для современности стремления получить возможность управления ходом различных технологических процессов (этот вопрос мы обсудим ниже); наконец, для математиков — поскольку именно от них ждут создания теоретического аппарата для точных исследований.

Таким образом, одной из целей построения общей теории систем является создание общего теоретического языка, дающего возможность объединить не связанные до сих пор отрасли науки, в частности объединить разделы биологии, которые исследуют организмы как целостности, с теми ее разделами, которые занимаются исключительно специальными биологическими процессами, для которых уже найдены соответствующие физические основы. В рав-

ной мере ученые, работающие в других областях науки и имеющие дело с аналогичными проблемами, надеются извлечь пользу для себя из этих поисков. Более того, предполагается, что такие общие методы могут стать ядром, вокруг которого выкристаллизуются теоретические структуры, служащие одновременно нескольким дисциплинам и тем самым противодействующие тем тенденциям дезинтеграции в науке, о которых мы уже упоминали.

В поисках базы для такого унифицированного языка представители разных наук пошли различными путями, что положило начало разным концепциям общей теории систем. Хотя лично я сильно склоняюсь к одной из этих концепций (несомненно, под влиянием моей собственной подготовки), я постараюсь по мере возможности объективно описать все известные мне подходы.

Начну с описания концепции, идущей от Людвиг фон Берталанфи и выраженной в его работах, опубликованных в течение последних примерно двадцати пяти лет. Берталанфи как биолога интересовал длительный спор между механистами и виталистами. Как известно, механисты утверждали, что жизненными процессами управляют только физические законы (включая химические), тогда как виталисты постулировали, кроме того, существование виталистического принципа, без которого, по их утверждениям, нельзя объяснить свойства жизненных процессов. Механисты в поддержку своей позиции ссылались на негативные результаты всех экспериментов, имевших целью показать нарушение каких-либо законов физики в процессах жизни. В то же время виталисты обычно указывали на некоторые «невыясненные» черты жизненных процессов, требуя от механистов объяснения их с помощью известных законов физики. И когда, как это обычно бывало, механисты не могли дать такого объяснения, виталисты ссылались на свою «жизненную силу» или какое-нибудь другое подобное понятие для «объяснения» этих процессов. Вполне понятно, что такой подход не мог дать действительного обоснования позиции виталистов. Их «объяснения» мало отличались от объяснений мольеровского героя, утверждавшего, что опиум усыпляет людей потому, что имеет «усыпляющие свойства». Однако виталисты сыграли некоторую положительную роль, поскольку побуждали механистов ко все новым усилиям. Они, кроме того, начали экспериментальную работу в таких областях, которых механисты избегали, предпочитая по вполне понятным причинам эксперименты, поддерживающие их точку зрения.

Такой позитивный вклад внес, в частности, Г. Дриш, известный виталист, который провел серию экспериментов на эмбрионах морских ежей на всех стадиях их развития. Дриш показал, что если такой эмбрион разрезать пополам, то из каждой половинки развивается целый организм. Этот результат он принял за доказательство существования «жизненного принципа». Он утверждал,

что принятие детерминистских механистических законов должно вести к предположению, что из двух половинок разделенного эмбриона должны развиваться две отдельные половины животного, поскольку механические силы должны действовать способом, в котором отсутствует стремление к достижению определенной цели. Тот факт, что несмотря на вмешательство экспериментатора развивался здоровый организм, являлся для Дриша доказательством существования «жизненного принципа», способного направлять развитие эмбриона к заранее поставленной цели, какой является в данном случае возникновение нормального организма, несмотря на изменения в начальном состоянии эмбриона. Вся эта аргументация опирается на утверждение, что механические процессы полностью детерминированы начальным состоянием. Поскольку в случае с эмбрионом мы наблюдаем успешное достижение якобы заранее предопределенного *конечного* состояния (каким является возникновение нормального организма) независимо от начального состояния, то здесь, по-видимому, имеют место иные, не механические процессы. Принцип достижения заранее определенного конечного состояния независимо от нарушения начальных условий был назван принципом эквифинальности.

Берталанфи подверг критике выводы Дриша, поставив под сомнение его большую посылку, а именно, что эквифинальность имеет место только в живых системах. Главную роль в его аргументации играли контрпримеры следующего типа.

Рассмотрим систему химических реакций. Пусть у нас имеется смесь нескольких веществ; некоторые из них могут превращаться друг в друга путем простой перегруппировки атомов в молекулах, как, например, цианистый аммоний ($\text{H}_4 \cdot \text{CO} \cdot \text{N}_2$) и мочевины ($\text{H}_2\text{N} \cdot \text{CO} \cdot \text{NH}_2$). В качестве первого приближения к математическому описанию этого процесса можно принять, что количество каждого вещества уменьшается со скоростью, пропорциональной его собственной концентрации, и возрастает пропорционально концентрации других веществ. Коэффициенты пропорциональности зависят от химических свойств составляющих веществ. Таким образом, физическая система описывается системой дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами

$$\frac{dx_i}{dt} = (a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n) \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (1)$$

Рассмотрим теперь два случая — первый, когда система замкнута, и второй, когда она открыта. Замкнутая система — это система, изолированная от окружающей среды, т. е. такая, в которую материя не проникает снаружи и не выходит наружу. В противоположность этому открытая система имеет «входы» и «выходы», т. е. вещество может как проникать в систему, так и покидать ее. Если в нашей системе дифференциальных уравнений мы дополним правую часть постоянными C_1, C_2, \dots, C_n , то получим систему

уравнений, относящуюся к обоим случаям. Случай, когда все C_i равны нулю, соответствует закрытой системе, а случай, когда не все C_i равны нулю, соответствует открытой системе. Когда некоторые C_i приобретают положительные значения, это соответствует входам (приток в систему определенных веществ, причем количество вещества, входящего в систему за единицу времени, постоянно). Приобретение некоторыми C_i отрицательных значений соответствует выходам (отток из системы определенных веществ, причем количество вещества, утрачиваемого системой за единицу времени, постоянно).

Решение системы этих уравнений дает концентрацию вещества x_i как функцию времени t и начальных условий

$$x_i = f_i [t, x_1(0), x_2(0), x_3(0), \dots, x_n(0)].$$

Если система стабильна, то она будет стремиться к состоянию равновесия, т. е. к некоторому постоянному распределению концентраций, достигаемому по истечении достаточно длительного времени. В результате мы пришли к следующему теоретическому выводу: если система замкнута, конечное распределение концентраций будет действительно зависеть от начальных концентраций, т. е. система будет проявлять «механистические свойства» в понимании Дриша. Но если система открытая, конечные концентрации будут независимы от начальных. Система будет иметь «эквивифинальные» свойства, подобно живым системам. Вмешательство в нее, выражающееся в добавлении или изъятии произвольных количеств разных веществ, не нарушает «конечного» состояния системы. Система будет как бы «стремиться» к конечному состоянию, детерминированному ее собственной структурой, как если бы она была живым организмом, стремящимся к «цели».

Этот пример самым очевидным образом наносит решающий удар по аргументации виталистов, во всяком случае, в той мере, в какой речь идет о принципе эквивифинальности. Бергаланфи не остановился на негативном использовании этого аргумента, а пошел дальше, намечая конструктивную программу исследования общих свойств «систем». Из приведенного примера явствует, что Бергаланфи в системе химических реакций видел модель, прототип системы. Исходным пунктом его программы является перенесение этого типа исследований с закрытых систем на открытые. Предметом исследования классической термодинамики были закрытые системы в условиях равновесия. Как известно, классическая термодинамика опирается на два принципа, первый из которых — это закон сохранения энергии, а второй — закон возрастания энтропии в закрытых системах. Виталисты в свое время утверждали, что к живым существам второй закон неприменим, поскольку в ходе их индивидуального развития в них происходит уменьшение энтропии, а не рост ее. Энтропия выступает в статистической механике как мера «дезорганизации» системы. С ростом энтропии

система во все большей степени утрачивает свою структуру. Например, температура и давление газа, стремящегося к состоянию равновесия, имеют тенденцию к выравниванию, разные виды газов имеют тенденцию к перемешиванию и т. д. В общем случае в закрытой системе, стремящейся к равновесию, степень «хаотичности» обнаруживает тенденцию к возрастанию. Поскольку живое существо обладает *своей организованностью* (или сложностью своей структуры), складывается впечатление, что его не касается вытекающая из второго закона термодинамики неизбежная необходимость эволюции в направлении хаоса.

Этот аргумент виталистов легко опровергнуть. Второй закон термодинамики относится к закрытым, а не к открытым системам. Но живой организм не может быть закрытой системой. Если понюхать отсутствию притока в него веществ из окружающей среды и выхода вещества из него, то такой организм не сможет жить. Как мы уже отметили, Бергаланфи не удовлетворился указанием на ошибки в аргументации виталистов. Он выдвинул программу исследований, направленных на разработку методов выявления некоторых черт живых систем из общих свойств систем. Дисциплину, которая должна заниматься такими исследованиями, он назвал «общая теория систем».

Следует, однако, отметить, что, насколько понятие закрытой системы является достоянием строгим, настолько понятие открытой системы является слишком широким и не поддается вышешошаяся закрывкой), является слишком широким и не поддается строгому общетеоретическому исследованию. Поэтому физики и физико-химики в своих теоретических изысканиях выделяли некоторые виды открытых систем. Именно такого рода системы открыли особое внимание Бергаланфи. Это были крайне простые открытые системы, стремящиеся к динамическому равновесию. Было показано, что для некоторого класса таких систем второй закон термодинамики принимает модифицированный вид, а именно: *скорость возрастания энтропии стремится в таких системах к минимумальному значению, соответствующему динамическому равновесию*.

В этот закон включается как частный случай классический второй закон термодинамики, поскольку он гласит, что скорость роста энтропии внутри системы стремится к нулю по мере приближения системы к состоянию равновесия, когда обшая энтропия принимает как раз максимальное значение. Таким образом был сформулирован обобщенный вид второго закона термодинамики; в этом виде он относится к системам более общего типа, чем те, к которым относится второй закон термодинамики в его обычной формулировке. Эти системы, будучи открытыми, более близки к живым системам. И поскольку второе начало играет такую принципиальную роль в классической термодинамике, понятно, что был сделан первый

шаг на пути выведения общих и точных законов, управляющих жизненными процессами.

Можно сослаться на другое исследование подобного типа. Оно касается некоторых электрических цепей, в которых минимизация скорости создания внутренней энтропии в стабильном состоянии достигается (либо не достигается) в зависимости от наличия и размещения обратных связей в системе. Этот результат может служить примером того, каким образом структура системы (топологическая структура сети каналов, по которым течет энергия и информация) влияет на способ стремления системы к определенным целям, поскольку минимизация роста энтропии внутри системы или минимизация скорости изменения значения какой-либо другой величины, характеризующей систему, может быть интерпретирована как стремление системы к «наиболее благоприятному» состоянию. Это, конечно, не значит, что такие антропоморфные понятия, применяемые к неживым системам, следует понимать буквально; речь идет, скорее, об указании на иное обстоятельство: то, что при рассмотрении живых систем трактуется как «стремление к цели», может быть просто следствием обобщенных законов термодинамики в применении к сложным структурам.

Таким образом, программа, намеченная Бергаланфи и другими исследователями, имеющими сходные взгляды, возникла под влиянием некоторых коренных проблем биологии. В этом подходе в центре внимания находится стремление живых систем к достижению определенного состояния, определенной цели. На основе того, что видимое стремление к достижению определенного состояния является свойством открытых систем (в противоположность закрытым системам), была предложена программа, целью которой является выведение этого биологического принципа и, может быть, ряда других законов из термодинамических свойств открытых систем. Сформулированная таким образом программа представляется слишком широкой и неопределенной. Однако в области термодинамики открытых систем проводятся систематические специальные исследования. Какой свет могут пролить те или иные результаты на пока не очень удовлетворительное понимание свойств живых организмов, которые, как мы помним, являются примерами организованной сложности, — это вопрос, который еще требует выяснения.

Теперь я перехожу к другому подходу к общей теории систем, который строится также под влиянием биологических проблем и методов. Я имею в виду концепцию Р. Жерара (R. W. Gerard).

В концептуальной схеме Жерара центральным является понятие живой системы. Живой системе он приписывает три отдельных и вместе с тем взаимно связанных между собой аспекта, а именно: структуру, функцию и историю. Структура системы — это совокупность отношений между ее частями. Следовательно, ана-

томия организма определяется его структурой. Функция (точнее, может быть, функционирование) системы — это совокупность ее реакций на условия внешней и внутренней среды. Понятие функции охватывает, таким образом, физиологические функции и кратковременные акты поведения организма. Характерной чертой таких реакций является некоторая степень обратимости. Например, реакция на стимул, как правило, ведет к восстановлению равновесия, нарушенного стимулом. Наконец, история организма — это длительные, как правило, необратимые изменения. Примеры таких необратимых изменений — рост и развитие, а затем деградация в процессе старения. Примером, охватывающим как функционирование, так и историю, является научение. Реакции на стимулы в процессе научения детерминированы функционированием организма, а длительные изменения в способе реагирования, возникающие в результате научения, дают пример относительно необратимого изменения, т. е. принадлежащего к истории системы.

По Жерару, эти три аспекта, т. е. *структура, функция и история*, или, иначе, *существование, действие и становление*, являются характерными для всех систем. Сказанное может быть истолковано как жераровское определение системы *implicite*. При этом оказывается, что под системами он имеет в виду прежде всего (хотя и не исключительно) «*одушевленные*» системы, другие же объекты учитывает в той мере, в которой они напоминают одушевленные системы, будучи своего рода «организованными объектами». Типами систем, выделяемыми Жераром, являются: частица, клетка, орган, особь, группа и общество. Все они, за исключением частицы, как видим, принадлежат к *живым* системам. Можно утверждать также, что выделенные объекты упорядочены по принципу включения. Общества составляют из групп, которые в свою очередь составляются из особей и т. д. Очевидно, эта классификация не является раз навсегда данной. Возможны дальнейшие, более детальные дробления, например на органеллы, ткани, малые группы, большие группы, институты и т. д. Иерархия групп более высокого порядка также может быть более разветвленной. От частиц мы можем перейти к неорганическому миру, например к кристаллам, геологическим пластам, планетам, планетным системам, галактикам. В равной мере от особи можно подниматься не к социальным, а к биологическим категориям, таким, как вид, род, семейство.

При рассмотрении различных классификационных схем всегда возникает вопрос, действительно ли мы еще имеем дело с «системами». Например, если мы переходим от особей к объединяющим их видам, родам, семействам и т. д., перед нами встает вопрос, является ли, скажем, «биологический вид» системой? Чтобы избежать опасности бесплодной, доктринерской полемики на эту тему, надо помнить, что, пока мы не достигнем соглашения

о том, к какому классу десигнатов следует применять термин «система», вопрос «что такое система» может быть только вопросом о том, «что мы будем называть системой». Из схемы Жерара следует, что термин «система» может применяться к чему-то такому, о чем можно делать содержательные и нетривиальные суждения относительно структуры, функции и истории.

Для уяснения этого критерия воспользуемся примером, который не укладывается в рамки приведенной схемы, — рассмотрим биологический вид.

Можно утверждать, что из трех выделенных аспектов систем виду наверняка присущ один — история. В ходе эволюции вид появляется в определенную эпоху, развивается и, наконец, в какой-то момент исчезает. Труднее определить в данном случае аспект структуры, хотя это можно сделать на основе идентификации структуры с таксономическими свойствами. Еще труднее определить в этом случае функцию. Можно ли говорить, что вид «ведет себя» так-то и так-то? Если да, то какие стимулы влияют на него? Каковы его «реакции на стимулы»? (В соответствии с современным подходом к виду эти реакции должны быть нейтрализующими.) По моему мнению, трудности, с которыми связано получение ответа на эти вопросы, оставляют открытым вопрос о том, следует ли в предложенной схеме считать вид системой. (Нужно заметить, что некоторые биологи, например Л. Слободкин, видят в изменении генетического состава вида при изменениях внешней среды своего рода «функционирование» системы «вид».) Однако наш анализ наталкивает на мысль о других биологических образованиях, к которым гораздо более уместно применение термина «система». Таким образованием является, например, экологическая система, т. е. совокупность организмов, занимающих определенную территорию и взаимно зависимых биологически. Хорошим примером в этом смысле является озеро с его дифференцированной биологической экосистемой. Особи разных видов пожирают друг друга, борются за пространство, вступают в связи симбиоза и т. д. Как правило, экосистема стремится к динамическому равновесию. В некоторых границах нарушения равновесия ведут в дальнейшем к его восстановлению, что доказывает действие «сил», типичных для стабильных систем. Система стремится к самосохранению в границах навязанных нарушений. Эта тенденция была названа принципом гомеостаза. В случае особей он проявляется в поддержании в границах допустимого некоторых критических переменных систем, например температуры, концентрации вещества, периодов циклической активности и т. д.

Анализ свойств систем приводит к выводу, что системами могут быть не только биологические особи, но и другие «объекты», в частности совокупности индивидов, между которыми существуют определенные достаточно «жесткие» связи и взаимозависимости. Этот подход создает предпосылки для некоторых методов исследования

социальных организаций. Можно поставить вопрос, каковы характерные свойства таких систем, как корпорация, университет, семья, нация. Специальные научные дисциплины уже давно занимаются такими проблемами. Во всяком случае, в политических науках можно найти детальные описания структуры политических институтов, а иногда и описания их эволюции. Подобные подходы мы находим в социологии, этнографии и экономической науке применительно к тем предметам и отношениям, которыми занимаются эти науки. Однако эти исследования проводятся изолированно, в рамках соответствующих наук, что ведет к возрастанию специальных терминологий. Заслуга общей теории систем состоит в том, что она обратила внимание на возможность существования некоторых весьма общих принципов, относящихся ко всем системам. Открытие таких принципов создало бы конструктивный фактор в деле объединения и генерализации науки, фактор, забытый в процессе становления специальных научных дисциплин.

Мы уже упоминали о принципе гомеостаза. Этот принцип, по-видимому, может служить хорошим примером принципа общей теории систем. Другим таким принципом является зафиксированный Жераром принцип циклической взаимозависимости трех аспектов: структуры, функции и истории. В частности, структура системы составляет один из факторов, определяющих функционирование большей системы, в которую входит данная система. Например, структура нервной системы является фактором, определяющим поведение данной особи. В свою очередь, поведение объектов — определяющий фактор для истории системы, которую они составляют. Например, поведение индивидов детерминирует историю их общества. Иногда эта цепь взаимной зависимости создает замкнутый цикл. Например, история вида (его эволюция) является фактором, детерминирующим структуру принадлежащих к нему особей (детерминация осуществляется через генный пул, возникающий в результате естественного отбора).

Надо иметь в виду, что охарактеризованная здесь концепция общей теории систем является концепцией, выражающей некоторую исследовательскую ориентацию, а не концепцией, фиксирующей определенные связи между установленными фактами, чего обычно ждут от теории. Она устанавливает именно связи между областями исследований, а не между определенными результатами исследований. Это иллюстрируется таблицей 1, суммирующей понятийную схему Жерара.

Различные дисциплины представлены здесь с точки зрения различных аспектов разных систем, которыми они занимаются. Достоинством этой схемы является то, что она указывает критические точки, через которые связаны различные дисциплины; это достигается, например, путем выявления циклических взаимозависимостей между упомянутыми выше аспектами и типами систем. Междисциплинарные исследования, бурно развивающиеся в наше

Т А Б Л И Ц А 1

Объект	Структура	Действие	Становление
Общество	Этнография, описательная социология	Экономическая теория, социальная психология	История
Группа	Социометрия	Динамика групп	Динамика групп
Особь	Анатомия	Экспериментальная психология	Психология развития
Клетка	Гистология	Физиология клетки	Эмбриология, дифференциация тканей

время, занимаются именно такими критическими пограничными областями. Это одна из унифицирующих функций общей теории систем.

Примером исследований, построенных на этих принципах, являются исследования перегрузки информацией входов системы, проведенные Дж. Миллером (J. G. Miller).

Функцию некоторых систем составляет «переработка информации». Например, человек реагирует не только на приток энергии (изменения давления, температуры и т. п. в среде), но и на приток информации, т. е. на *сигналы*, преобразуемые в соответствующие действия. Поскольку емкость каждого канала, проводящего информацию, ограничена, существует верхняя граница скорости, с которой такие сигналы могут быть переданы. Предположим, что система оказывается «перегруженной» вследствие слишком быстрого притока информации, превосходящего способности приемных механизмов системы. Оказывается, система располагает «защитными механизмами» разного рода. Она может, например, отбросить некоторые сигналы, случайно или систематически выбираемые из потока сигналов. Она может также применить менее тонкие критерии различения сигналов с целью редукции количества решений, которые необходимо принять. Другим защитным механизмом является то, что можно назвать «постановкой сигналов на очередь», чтобы заняться ими позднее, когда спадет скорость их притока (это напоминает установление очереди покупателей в переполненном магазине или откладывание бумаг для принятия решения в будущем).

Известно, что с переработкой информации сталкиваются не только тогда, когда речь идет об индивидах, но и когда дело идет о более крупных системах, например, социальных институтах. Любые закономерности, касающиеся способов преодоления пере-

грузки информацией входов в системе, принадлежащей к одному уровню, могут быть сравнены с соответствующими закономерностями на другом уровне. Например, индивиды, подвергнутые экспериментальной перегрузке информацией, по мере возрастания перегрузки выявляют свою максимальную способность пропуска информации и определенную последовательность применения защитных механизмов. Что можно сказать об аналогичном «поведении» социальных институтов? В университете штата Мичиган в течение двух-трех лет проводились параллельные исследования, основанные на опытах с индивидами и на исследовании местных социальных институтов, преимущественно библиотек. Аналогичные исследования проводились также относительно емкости каналов информации отдельных нервных клеток и узлов клеток. (Общий результат, полученный Миллером из этих исследований, показывает, что емкость системы уменьшается по мере увеличения самой системы. Получены приближенные количественные данные относительно порядка величины информационной емкости различных систем. В некоторых случаях емкость системы подсчитана теоретически. Подсчитана, например, емкость единичного нервного волокна. Значение этой емкости оказалось фантастически высоким — несколько тысяч бит в секунду, тогда как аналогичное значение для человека, исследованного в обычном эксперименте на реакцию выбора, едва достигает шести бит в секунду (опытные стенографистки, пианисты и т. д. достигают до 40—50 бит в секунду). Имеет ли высокая информационная емкость единичной нервной клетки в сравнении с емкостью целого индивида какое-либо практическое значение или это только теоретическая величина — на этот вопрос можно будет ответить только тогда, когда станет известен код, используемый аппаратом, который переносит информацию. В особенности важно знать, какие свойства сигналов, посылаемых единичным нейроном, выборочно принимает следующее звено нервной системы. Оно может, например, реагировать на наличие или отсутствие импульсов, на временные интервалы между импульсами, на общую сумму импульсов или на среднюю частоту их в данном временном интервале. Более того, нервная система осуществляет свою интегрирующую функцию через сложное взаимодействие нескольких сетей каналов; одни из них связаны последовательно, другие параллельно, третьи действуют как резервуары памяти и т. д. Где-то в необычайно сложной структуре этого аппарата находятся звенья, связывающие нейрофизиологические явления с поведенческими, — ключ к разрешению труднейшей из проблем, о которых упоминалось в начале доклада.

Ныне общеизвестно, что новая дисциплина, называемая кибернетикой, занимается созданием теоретических средств (соответствующих понятий и исследовательской техники), необходимых для разрешения этой проблемы. Следует обратить внимание на тот факт, что кибернетика пользуется понятиями, которые

относятся не к тем или иным конкретным материальным системам, а к общим принципам организации систем. Отсюда следует, что, хотя методы кибернетики служат для проектирования электронных средств связи, кибернетика не является теорией электронной техники; хотя ее понятия служат для исследования нервной системы, она не является ни физиологией, ни психологией. Методы кибернетики есть именно методы общей теории систем, хотя область интересов кибернетики более ограничена, а ее методы более точны. Кибернетика занимается прежде всего переработкой информации и функциями управления в системах. Поскольку кибернетика отвлекается от физического характера рассматриваемых ею систем, ее можно считать подразделением общей теории систем. Это второй, технологический источник, вызвавший развитие общей теории систем. Приступим к его рассмотрению.

Здесь мы имеем дело с областью, называемой системотехникой, т. е. со специализированной технической дисциплиной, специфический предмет которой составляет не природа применяемого материала (как в случае химической, электрической техники или металлургии), не использование полуфабрикатов (как в случае строительной, механической, авиационной, военной индустрии). Свообразие этой сферы определяется ее направленностью на характерные проблемы современной техники: на проблемы переработки информации, связи, управления и контроля.

Интенция инженера выражается в его определении системы. Он всегда рассматривает систему как устройство, построенное для реализации определенной цели. Отсюда сразу вытекает, что структура и функционирование системы (в понимании инженера) могут быть в принципе полностью известны. Проблема «истории» такой системы очень интересна. Пока не наступили времена техники управления и контроля (автоматики), история индивидуальной машины была прежде всего процессом ее амортизации и употребления очевидно не приводившим к росту ее полезности. С развитием техники управления и контроля история устройств становится существенной чертой их полезности, поскольку история охватывает «память», которой может быть снабжено контрольное устройство. Введение памяти придает новую важную черту определению «системы» с точки зрения техники. Если в традиционном понимании машиной являлось устройство, которое реагировало предусмотренной последовательностью состояний на каждое из предусмотренных для него входных действий, то системы, с которыми имеет дело инженер по управлению и контролю, являются системами следующего типа: *данное входное действие и данное внутреннее состояние системы* вместе определяют некоторое *выходное действие и определенный переход из данного состояния в другое*. Внутреннее состояние выражается в наличии у системы памяти или записи прежних входных действий. Отсюда вытекает, что выходное действие такой системы нельзя предвидеть на основе

одного только знания ее актуального входного состояния. Указание выходного состояния требует в этом случае также достаточного знания состояния ее памяти или истории прежних входных действий.

То, что только что было сказано, дает по существу строгое определение понятия системы. Для того чтобы нечто можно было считать системой, должны быть выполнены следующие условия:

1. Все явления в среде данного объекта разделяются на такие, которые могут играть роль входных действий (влияют на поведение этого объекта), и такие, которые не могут играть этой роли.
2. Указываются все возможные состояния системы.
3. Указываются все возможные выходные действия системы.
4. Данное состояние и данное входное действие детерминируют определенное выходное действие системы и ее определенное новое состояние.

Особенно интересен случай, когда мы имеем дело с конечным числом входных действий и состояний системы. Теория таких систем — это теория конечных автоматов, к которым принадлежат все цифровые машины. Некоторые кибернетики в большей или меньшей степени склоняются к утверждению, что функционирование мозга с точки зрения определенных формальных моментов аналогично функционированию конечных автоматов. Если бы эта гипотеза оказалась правильной, она разъяснила бы один важный вопрос методологии психологии. Как известно, примерно полвека назад в психологии возникло направление, названное бихевиоризмом. Бихевиоризм пытался подойти к психологии со строгими эмпирическими и позитивистскими методами, что, несомненно, было реакцией на исключительно интроспективные, спекулятивные методы, господствовавшие в этой дисциплине. Бихевиористы пытались установить связи реакций со стимулами и утверждали, что задача экспериментальной психологии должна исчерпываться установлением таких связей.

В этой формулировке содержится скрытое положение о том, что существует взаимно-однозначное соответствие между стимулами и реакциями. Другими словами, тот, кто точно знал бы конфигурацию действующих на организм стимулов, был бы в состоянии предвидеть реакции.

Критика бихевиоризма в той мере, в какой она оперировала конкретными аргументами, была направлена прежде всего против принципа однозначного соответствия стимулов и реакций. Такой характер носили, например, аргументы сторонников гештальт-психологии. Выдвигались, однако, и возражения иного рода, основанные, например, на носившем эмоциональную окраску отвержении бихевиоризма как «механистически-детерминистской» концепции. Это напоминало позицию виталистов.

Важность принятого в технике определения системы определяется прежде всего тем, что оно отделяет понятие детерминизма

от понятия взаимно-однозначной функциональной связи между стимулами (входными действиями) и реакциями (выходными действиями), поскольку, согласно этому определению, входные действия сами по себе не определяют выходные и, наоборот, нельзя умозаключать о входных действиях на основе знания только выходящих. Только *входное действие вместе с определенным состоянием системы определяет соответствующее выходное действие*. Детерминизм тем самым был спасен, но только благодаря признанию существенной роли «внутреннего состояния» системы, т. е. положения дел внутри так называемого «черного ящика», с таким упорством отклонявшегося бихевиористами.

Представленная выше модель системы создала возможность конструирования автоматов, способных осуществлять многие функции, которые прежде приписывались исключительно так называемым «разумным существам». Такие автоматы способны, например, осуществлять логическую дедукцию, распознавать образы, обучаться и т. д. Сегодня можно построить не только такую машину, которая будет хорошо играть в шахматы, но и такую, которая будет играть все лучше на основе опыта, приобретенного в сыгранных партиях. В принципе, следовательно, можно построить даже такую машину для игры в шахматы, которая со временем станет играть лучше своего конструктора, и это будет достигнуто не только благодаря более быстрому расчету могущих возникнуть позиций, но и благодаря применению более глубоких стратегических идей, чем те, которые первоначально были заложены в устройство этой машины, принимающее решения.

Теория автоматов представляет собою звено, связывающее технику с психологией, по крайней мере с той ее частью, которая занимается когнитивными функциями мозга. Аналогичным образом теория сервомеханизмов представляет собою звено, связывающее технику со знаниями об интегрирующих функциях нервной системы во время осуществления контролируемых двигательных действий. Все это достигается на основе абстрагирования от физического характера исследуемых систем. Ключевыми понятиями кибернетики не являются понятия «электрического тока», «напряжения» или «сопротивления», с одной стороны, и понятия «мышечного напряжения», «метаболизма» или «уровня сахара в крови» — с другой. Такими ключевыми понятиями являются «количество информации», «обратная связь», «кодирование» или «емкость памяти», т. е. термины, которые характеризуют процессы управления как в технике, так и в биологии. Поэтому по своей области применения кибернетика составляет фрагмент именно общей теории систем.

После обсуждения биологического и технического подходов к общей теории систем следует сказать о третьем возможном подходе, математическом. Математическая техника, это совершенно очевидно, широко применяется в разных направлениях исследо-

ваний, о которых здесь шла речь. Можно, однако, говорить о специфически математическом подходе к общей теории систем, который отличается от рассмотренных подходов несколько иным характером интересов или исходным пунктом. Этим исходным пунктом является не живая система, как в биологическом подходе, не система, построенная из металла, интересующая технику, а абстрактная математическая модель.

Математическая модель. — это просто совокупность отношений между переменными. Как правило, хотя и не обязательно, одной из переменных является время. Но если это так, то модель представляет «поведение» или «историю», т. е. последовательность состояний во времени. Однако это не является необходимым признаком математической модели.

При математическом подходе система является математической моделью, например системой уравнений. В силу этого и типология систем, получаемая при таком подходе, отражает типологию систем уравнений или других математических образований, а не типологию материальных объектов.

Классической иллюстрацией этого принципа является уравнение

$$A \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + Cx = 0, \quad (2)$$

где A , B и C — константы. Если x обозначает электрический заряд, то это уравнение описывает электрическую систему, в которой A , B и C являются, соответственно, индуктивностью, сопротивлением и емкостью. Если же x обозначает перемещение материальной частицы, то это уравнение описывает колеблющуюся механическую систему, в которой A , B и C обозначают, соответственно, массу, коэффициент трения и упругость. Физические значения параметров различны, но с математической точки зрения указанные системы идентичны. Каждое утверждение, выведенное из модели, значимо для каждой из этих систем при условии выполнения соответствующей интерпретации.

Система уравнений (1), приведенная выше, может представлять при соответствующих интерпретациях ее символов систему вступающих в химические реакции единичных молекул, экологическую систему или некоторый аспект экономической системы. **Адекватность** различных моделей — это, очевидно, специальный вопрос. Если оставить в стороне очень простые процессы, то нелегко найти такие процессы, которые удастся адекватно описать при помощи математических моделей, достаточно простых для того чтобы ими можно было практически пользоваться. Вместе с тем, когда адекватная математическая модель некоторой ситуации получена, можно говорить о теоретической унификации всех ситуаций, которым соответствует эта модель. Математика располагает общим языком для рассмотрения всех таких ситуаций, вместе

взятых. Имеются многочисленные примеры такой формальной тождественности. Уменьшающаяся определенным образом популяция математически разнозначна уменьшающейся массе радиоактивного вещества. Все процессы, в которых «нечто» распространяется в популяции вследствие контактирования между собой ее отдельных особей, — математически равнозначны, независимо от того, является ли это «нечто» болезнью, или какой-либо информацией, или способом поведения, если только «законы распространения» и вероятность контактов в данных популяциях аналогичны. Одна из математических моделей динамических процессов, которая должна была объяснить некоторые статистические закономерности языка, оказалась изоморфной модели динамических процессов, лежащих в основе роста энтропии в газе, замкнутом в сосуде. В этом смысле оказалось возможным введение термина «температура» языка, хотя эта метафора может показаться странной.

Все это — примеры унификации, основанной на установлении математической структуры разных систем. При таком исследовании свойства систем равнозначны свойствам соответствующих математических конструкций (в свое время К. Боулдинг предлагал проследить «естественную историю» таких конструкций).

Иногда таким методам исследования ставится в упрек то, что они имеют чисто формальный характер, оторваны от действительного мира. Исторический опыт показывает, однако, что в научном познании мы нередко сталкиваемся с ситуациями, как будто нарочно созданными для того, чтобы соответствовать ранее полученным математическим результатам. Случается также, что математические свойства абстрактных систем напоминают некоторые явления в реальном мире и таким образом наталкивают на гипотезы о нем. Хорошо известна пророческая роль, которую сыграли тензорный анализ и неевклидова геометрия в предвосхищении общей теории относительности. Я могу привести пример и из собственного опыта. Пользуясь математической моделью процесса запоминания, которая опирается на некоторые принципы теории информации, я получил результат, в соответствии с которым вероятность правильного ответа удовлетворяет логистическому дифференциальному уравнению типа

$$\frac{dP}{dt} = Ap(1 - p). \quad (3)$$

Это же самое уравнение удовлетворяет простейшему примеру процесса распространения заразной болезни. Если предположить, что вероятность правильного ответа определяется участком «соответственно подготовленных каналов» в нервной системе, т. е. каналов, по которым импульс движется к одной из возможных реакций, то это уравнение позволяет допустить, что «подготовка каналов» имеет характер «процесса заражения». Вполне очевидно, что данное предположение отнюдь не является выводом о действи-

тельном характере процессов детерминации в мозгу. Однако это хорошая иллюстрация того, каким образом абстрактные математические исследования могут выступать в качестве источника идей для конкретных теорий.

Особое достоинство математики состоит в том, что все математики говорят на одном языке и все отрасли математики взаимосвязаны. Поэтому математика является наиболее монолитной из всех научных дисциплин. Бесспорно, что эти достоинства — следствие логической строгости математических выводов, а строгость — следствие чисто формальной природы (бессодержательности) математических законов. Возможно, что именно поэтому математика служит превосходным цементом при построении здания науки. Ее доминирующая роль в общей теории систем вытекает именно из этих ее свойств.

Я дал беглое описание трех различных подходов к общей теории систем. Теперь попробуем сформулировать общую сравнительную критическую оценку этих подходов. Я уже признал, что не являюсь объективным докладчиком, ибо склоняюсь к математическому подходу. Однако я надеюсь, что тесная духовная связь и уважение к моим коллегам — сторонникам других подходов — позволят мне сохранить необходимую объективность.

Мне представляется, что основная разница между различными концепциями общей теории систем состоит в том, что в них акцент делается либо на аналитических, либо на синтетических, либо на организмических описаниях. Типичным для первого подхода является метод математических моделей, для второго — метод «иерархии систем». Достоинство аналитического подхода, по моему мнению, состоит в концентрации внимания на структурных отношениях, характеризующих явления. Я стою на той философской позиции, согласно которой высшее знание об объективной действительности — это знание о структурных отношениях. Поэтому мне трудно поверить, что классификация систем, основанная на принципе иерархии уровней организмов (например, клетка, орган, особь, общество), имеет какое-нибудь фундаментальное значение.

Чтобы убедиться в этом, обратимся к двум системам: живому мозгу и человеческой популяции. По организмической классификационной схеме мозг принадлежит к уровню «органов», а популяция — к уровню «общества». Поскольку общество складывается из особей, а эти последние — из органов, на основании организмической классификации следует сделать вывод, что популяция является чем-то более сложным, нежели мозг. Однако некоторые явления, происходящие в популяции, можно понять на основе значительно менее точного наблюдения и более простого анализа, чем тот, который требуется для понимания даже самых простых действий, совершаемых мозгом в рамках его основных функций как органа координации движений или рационального мышления. Насколько мне известно, еще никто не сумел описать

того, что происходит в мозгу, когда «он» складывает один и один, чтобы получить два. Мне представляется, что с точки зрения теории систем мозг является несравненно более сложной системой, чем человеческая популяция, поскольку для объяснения даже простейших функций мозга надо знать о нем намного больше, чем требуется знать о популяции, чтобы охарактеризовать определенные стороны ее поведения. Некоторые аспекты поведения такой популяции могут быть описаны и уже были описаны при помощи простых математических моделей (например, число телефонных переговоров как функция заселения жилых центров и расстояний между ними), но никто никогда не сконструировал математической модели для объяснения даже простейших функций *реального* мозга в отличие от искусственных конструкций, специально создаваемых для выполнения таких функций. Степень возможности точного описания и прогнозирования представляется мне более существенным показателем сложности системы, чем ее положение в иерархии уровней организмов.

Таким образом, мой основной упрек касается *строчек* организмической схемы Жерара (см. табл. 1). Вместе с тем *коло* ни этой схемы могут отражать основные свойства систем. Мои математические наклонности, по всей вероятности, выражаются также и в этой позитивной части оценки организмической схемы. Я склонен представлять имеющиеся в ней три колонки как области преимущественного применения одного из трех направлений математики. Топология хорошо приспособлена для описания структур, дифференциальные уравнения — для описания кратковременного обратимого поведения (действий), а интегральные уравнения — для описания длительного поведения, детерминированного предшествующей историей системы (становления).

Другим достоинством организмического подхода является то, что построенный на его основе язык не требует детального установления строгих взаимозависимостей внутри рассматриваемых систем. Если по какой-то причине нельзя построить математическую модель некоторого явления, математик оказывается беспомощным. Если для представления системы употребляется неадекватная математическая модель, исследователь может впасть в ошибку. Поэтому иногда полезно отказаться от слишком большой строгости, чтобы дать идеям дозреть, прежде чем включить их в жесткую схему математического описания. Например, идеи биологической эволюции были сформулированы в организмическом языке задолго до придания им точного вида в современной математической генетике популяций. Математизация ничего бы не дала, если бы биологи не продумали в собственном языке интересующие их вопросы. Преждевременная математизация сбивала с пути многие исследования.

Что касается подхода Бергаланфи, то в той мере, в какой он под системой понимает систему реакций, описываемых дифферен-

циальными уравнениями, его подход можно считать аналитическим. Однако многие аргументы Берталанди имеют организмический характер, несмотря на то что они сформулированы аналитически, например, когда он говорит об эквифинальности в поведении «открытых систем», причем эквифинальность и «открытая система» определяются не аналитически, а только вербально. Его гипотеза может быть подкреплена аналитическими аргументами лишь в отдельных случаях. Для обобщения полученных результатов Берталанди прибегает к организмическим рассуждениям. Опасность организмических аргументов состоит в том, что они могут ввести в заблуждение своей убедительностью (которая в других случаях составляет их ценное достоинство).

В связи с этим следует сказать о некоторых отрицательных сторонах широкого интереса к общей теории систем. По моему мнению, эти отрицательные стороны являются следствием неточной терминологии, с которой мы сталкиваемся порою в организмическом подходе. Как известно, общая теория систем пользуется аналогией в качестве исходного пункта для интеграции разных отраслей знания. Но если в математическом подходе аналогия сводится к изоморфизму систем, то в организмическом подходе она постулируется в терминах свойств, абстрагированных от живых систем. Пока мы остаемся в сфере биологии, употребление этих терминов не создает неясностей, поскольку биология — зрелая наука, твердо опирающаяся на тщательное наблюдение и эксперимент. Однако когда переходят к психологии и общественным наукам, эти гарантии перестают действовать. Но как раз там острее всего ощущается потребность в унификации понятий. Именно поэтому мы были свидетелями использования терминологии общей теории систем и кибернетики в многочисленных спекуляциях, в которых часто желаемое выдается за действительное. Невысокая ценность этих спекуляций вытекает из того, что подход, основанный на общей теории систем, но не подкреплённый точным аналитическим пониманием, с легкостью порождает аналогии, построенные на одних вербальных конструкциях. Так, некоторые авторы сравнивают «открытое общество» с «открытой системой», а понятие энтропии (как связанное с понятием дезорганизации) появляется в дискуссиях о преступности, нравственности и неврозах и т. д. Этот род «научности» производит плохое впечатление, и серьезные исследователи, занимающиеся общей теорией систем, вынуждены брать на себя неприятную задачу отмежевываться от этого избытка энергии.

Давая оценку математического подхода к общей теории систем, я уже упоминал о его ограниченности, выражающейся в его полной зависимости от наличия строгих описаний, вследствие чего он может охватить только очень немногие и достаточно простые системы. Подобная ограниченность характеризует, по сути дела, и биологический подход, направленный на выделение живых

систем. Это хорошо иллюстрируется на примере языка, который многие считают системой *par excellence*. Язык имеет сложную и вполне поддающуюся описанию структуру; существуют и очевидные законы эволюции языка. В сущности очевидные проявления эволюции языков делают возможным сопоставление лингвистических и биологических понятий, так что даже можно вполне серьезно говорить о «генетических структурах», «факторе отбора», «факторе мутации» и т. д. в связи с историческими изменениями языков. Таким образом, здесь перед нами область, в которой применение методов общей теории систем дает хорошие результаты. Однако этот случай не может быть вполне отнесен ни к биологической, ни к математической концепциям систем. В языке нет ничего, что соответствовало бы «организму». Язык не может быть признан организмом, ибо, хотя он и служит примером «организованной сложности», он не является материальным объектом, подобным организму. Более того, язык подвержен эволюции, т. е. проявляет признаки не особи, а популяции. Трудно, однако, сказать, популяцией чего является язык: как идентифицировать образования, не существующие материально?

Существуют математические подходы, которые трактуют языки как системы. Однако до сих пор они ограничивались некоторыми аспектами статистики языка, такими, как расположение фонем, частота звуков и т. д. Языковеды правильно заявляют, что при таком подходе теряются из виду основные *структурные* свойства языка. Это все равно, как если бы кто-то попытался понять живой организм на основе вычисления пропорций между различными составляющими его веществами или игру в шахматы путем подсчета частоты ходов, делаемых различными фигурами.

Н. Хомский и его последователи, отвергая статистический подход, развили «математическую лингвистику» на иной основе. Здесь модели грамматики являются алгоритмами, т. е. сводятся к моделям автоматов; иерархия типов грамматик отражает иерархию типов автоматов. Однако до сих пор удалось применить эту теорию лишь к искусственным языкам (на которых «общаются» со счетными машинами), но не к естественным языкам. По-видимому, включение таких систем, как язык, в рамки общей теории систем представляет собою проблему, которая еще ждет своего разрешения.

Суммируя сказанное, можно утверждать, что задачей общей теории систем является унификация отдельных отраслей знания путем указания на то, каким образом закономерности, наблюдаемые в ограниченных областях, могут быть поняты как частные случаи более общих закономерностей. Методы общей теории систем выводятся из некоторых современных достижений биологии и техники и быстрого развития приложений математики. Основным достижением биологического подхода к теории систем было понимание того, что понятие организма применимо к гораздо более

широкому кругу явлений, чем это считалось до сих пор. Действительные свойства живых организмов особенно очевидно проявляются в социальных организациях, так как они сохраняют свою жизнь, взаимодействуют со средой, имеют жизненные циклы и претерпевают эволюцию. Поэтому имеет смысл искать такие обобщения биологических законов, которые относились бы к общим системам типа организма. Вклад техники в общую теорию систем состоял прежде всего в применении понятия машины к таким сложным устройствам, способным к саморегулированию, которые не только внешне напоминают живые организмы. Благодаря технике исследование «организованной сложности» стало точным.

Математика внесла свой вклад в теорию систем благодаря характерному для нее счастливому сочетанию точности и способности к обобщению, а также благодаря эвристически ценным свойствам математических систем. Эти свойства можно изучать с помощью только карандаша и бумаги, но чисто формальные результаты нередко приводят к пониманию существенных сторон действительного мира.

ЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ОБЪЕКТАМ И ЕГО МЕСТО СРЕДИ ДРУГИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

А. И. УЕМОВ

Первый вопрос, естественно возникающий перед теоретиком системного исследования, заключается в определении его специфики. Решение этой задачи, в свою очередь, предполагает известную классификацию методов исследования по тем или иным основаниям и выяснение места системного метода или системных методов в этой классификации.

Построение классификации методов исследования может быть дано с помощью различных наборов категорий. Например, можно начать с различения эмпирических и теоретических методов. Здесь в основу кладутся понятия опыта и теории. Выделение системного метода исследования, очевидно, требует иного основания, поскольку такой метод не тождествен ни теоретическому, ни эмпирическому и может применяться как в той, так и в другой областях.

1. Определение понятия «система»

Для выделения требующегося нам набора категорий обратимся к определению понятия системы. Те категории, которые используются в таком определении, могут быть применены и для выяснения сущности системного метода исследования. Как известно, имеют место различные определения понятия системы, однако большинство из них в явном или неявном виде используют категории вещи, свойства и отношения.

Так, М. Месарович формулирует понятие абстрактной системы как некоторого отношения, определенного на декартовом (прямом) произведении некоторого семейства множеств объектов [1, стр. 22—23]. Таким образом, здесь явно используются понятия вещи и отношения.

В этом определении символы вещей и отношений представляют собой переменные. В качестве исходных Месарович использует множества л ю б ы х объектов. Отношения также берутся любые,

но в рамках того класса, который представляет собой совокупность подмножеств декартова произведения множеств исходных объектов. Таким образом, область переменности символа, выражающего отношение, определена здесь исходными вещами. Можно сказать, что переменная, выражающая отношение, с в я з а н а, но не квантором, а п е р е м е н н о й, обозначающей вещи.

Пусть символ m обозначает какие-то вещи, R — определенные на них отношения. Тогда $R^m(m)$ будет выражать свободную переменную m и связанную этой переменной переменную R . Мы уже сказали, что, согласно Месаровичу, система определяется как отношение. Выразив этот факт подчеркиванием символа отношения, получим следующую схему определения Месаровичем абстрактной системы S :

$$S = \text{def } \underline{R}^m(m).$$

Рассмотренное определение Месаровича представляет собой упрощенный вариант определения системы, данного ранее Д. Холлом и Р. Фейджином [2]. Холл и Фейджин рассматривают систему как множество объектов вместе с отношениями между этими объектами и их свойствами. Однако свойствами объектов, соотношенные друг с другом, можно рассматривать как новые объекты. В результате мы вновь приходим к вышеприведенной схеме определения с тем отличием, что в качестве *genus proximum* здесь берутся и объекты, и отношения

$$S = \text{def } \underline{R}^m(m).$$

Существенно иной по своей логической структуре характер имеет определение системы, данное Л. Берталанфи [3]. Он исходит из понятий «объект» и «взаимосвязь». Поскольку взаимосвязь можно рассматривать как частный случай отношения, который отличается от других отношений определенными свойствами [4] [5] [6], определение системы, по Берталанфи, использует в явном виде категорию вещи и в неявном, *implicite*, — категории отношения и свойства.

В качестве *genus proximum* для системы у Берталанфи выступает не отношение, а вещь. Значит, в схеме определения должен быть подчеркнут символ вещи — п р е д м е т н а я п е р е м е н н а я. В отличие от схемы определения Месаровича, где эта переменная являлась свободной, определению Берталанфи соответствует связанная предметная переменная. Эта связь осуществляется р е л я ц и о н н о й п е р е м е н н о й, обозначающей отношение, что можно выразить как $R(m^R)$. Что касается R , то эта переменная также является связанной, поскольку в качестве R берется не любое отношение, а отношение определенного класса — в з а и м о с в я з и. Этот класс определяется набором конкретных свойств отношения. Для обозначения этих свойств введем символ \dot{R} . Точка здесь обозначает принадлежность символа к классу констант. Поскольку в нашем случае имеются в виду не какие-

нибудь, а вполне определенные свойства, наличие которых делает отношение взаимосвязью, можно сказать, что переменная R связывается атрибутивной константой \dot{P} . Условимся атрибутивную константу или переменную в противоположность символу, выражающему отношение, записывать не слева, а справа от скобки с обозначением вещи — $R(\dot{P})$. Отмечая также связанность R через \dot{P} , получим $(R^{\dot{P}})\dot{P}$. Определение системы, по Бергаланфи, в целом будет выражаться схемой

$$S = \text{def } [R^{\dot{P}}(\underline{m}^R)] \dot{P}.$$

Здесь символ, стоящий вне квадратных скобок, относится к символу вне круглых скобок, а последний — к символу в круглых скобках.

Аналогичную структуру имеют многие другие определения системы, например приведенное в статье В. Н. Садовского [7] определение системы как множества предметов, упорядоченного определенным образом. Здесь также выделяется некоторый класс отношений — отношения порядка с помощью ряда конкретных логических свойств. Усиление условия отнесения множества объектов к классу систем с помощью требования, чтобы это множество было не только упорядочено, но и взаимосвязано, содержащееся в этой статье, не меняет логический тип определения.

С другой стороны, ослабление условий отнесения объектов к системе, позволяющее охватить одним определением как системы типа особи, так и системы типа биологического вида [8], также не выходит за пределы этой схемы. Различие здесь лишь в выборе константы \dot{P} . В последнем случае в качестве \dot{P} рассматривается редуцированность матрицы отношений.

Таким образом, мы приходим к выводу, что с помощью категорий вещи, свойства и отношения могут быть даны два типа определений понятия системы. В одном из них предметная переменная является свободной, что приводит к слишком широкому определению, поскольку любое множество объектов в любом случае оказывается системой (подробнее см. [10]). Другой тип определений оказывается слишком узким, поскольку предметная переменная m связывается константой \dot{P} так, что круг объектов, охватываемый определением, оказывается лишь частью того множества предметов, которые являются системами, согласно принятому в науке и технике словоупотреблению.

Выбор константы \dot{P} всегда является в той или иной степени произвольным. При любом выборе константы \dot{P} множество m , в котором реализуется отношение R , обладающее свойством \dot{P} , оказывается с точки зрения тех, кого интересует \dot{P} , системой. Поэтому адекватное определение понятия системы может быть получено в том случае, если атрибутивную константу \dot{P}

заменить атрибутивной переменной P [9] [10] [11].
В результате мы получим схему

$$S = \text{def } [R^P (\underline{m}^R)] P.$$

Здесь существует порядок перехода от одного символа к другому. Вначале задается некоторое P , позже на его основе определяется R , и затем мы находим m , удовлетворяющее R , которое и будет системой. Эту последовательность выразим как $P \rightarrow R \rightarrow m$. С помощью указанной последовательности переходов определяется некоторое отношение второго порядка, которое можно назвать интерпретационным (последующее интерпретирует предыдущее). Такое отношение противопоставляется предикационному, т. е. $m \rightarrow R \rightarrow P$, когда последующее предикцируется предыдущему.

Согласно принципу двойственности для свойств и отношений [12], термины «свойство» и «отношение» в высказываниях можно менять местами при сохранении истинности высказываний. В результате можно получить двойственную первой схему определения понятия «система»

$$S = \text{def } R [(m^P) P^R].$$

Здесь реализуется последовательность переходов $R \rightarrow P \rightarrow m$ при сохранении интерпретационного отношения. Указанная последовательность означает, что выбирается некоторое отношение, для которого находится его реализация на каких-то свойствах, в качестве носителей последних определяются объекты m , представляющие собой, таким образом, систему.

Отметим, что P или R довольно часто в научном исследовании даны *implicite* и требуется логический анализ для того, чтобы их выделить. Но в случае рассмотрения объектов как систем всегда предполагается как то, так и другое.

Необходимо также сделать замечание в связи с универсальностью наших определений системы. Определения со свободной предметной переменной типа определений Месаровича и Холла — Фейджина выше отвергались на том основании, что они не дают возможности отличить систему от не-системы, поскольку, согласно этим определениям, любой объект или множество объектов оказываются системой. У нас также любой объект может быть системой в том смысле, что найдутся такие P и R , по отношению к которым он будет системой, но в то же время и наоборот — любой объект может не быть системой в том смысле, что найдутся такие P и R , по отношению к которым он не-система. Таким образом, деление объектов на системы и не-системы будет иметь смысл лишь при заданных P и R .

Здесь можно привести аналогию с понятием кинетической энергии тела. Кинетическая энергия может принимать любое значение в зависимости от выбора системы отсчета. Однако это не означает, что понятие кинетической энергии лишается объек-

тивного содержания. Грубейшей ошибкой критиков теории относительности в свое время было отождествление относительного с субъективным. Релятивизация понятия системы соответствует общей тенденции развития современной науки.

2. Специфика системного исследования

Определение понятия системы дает возможность выяснить сущность системных исследований. Вообще говоря, система может быть исследована не со специфически системной точки зрения. Например, в системе, образованной по одним P и R , могут быть обнаружены совсем другие свойства и отношения. Так, участники семинара по теории систем представляют собой систему, поскольку на них реализуется определенного типа отношение, скажем, к теории систем. Но если мы будем определять отношения между ними по росту, весу, возрасту и т. д., то это не будет изучением данного объекта в том плане, в котором он образует систему.

Специфически системное исследование заключается в исследовании объектов именно в том аспекте, в котором они представляют собой системы.

Можно выделить различные направления движения научно-исследовательской мысли, каждое из которых характеризует соответствующий метод исследования. Для удобства обозрения представим их в виде таблицы. Три ее колонки соответствуют порядку перехода (от I к III) от одной категории к другой. Используется принятая нами символика, где m обозначает вещь, P — свойство и R — отношение. Если какая-либо из категорий вообще не участвует в определенном исследовательском процессе, то соответствующая клетка остается пустой. В том случае, когда развитие познания идет в рамках одной категории, лишь поднимаясь на более высокий уровень — например, если у вещей вначале определяются свойства, а затем свойства этих свойств и т. д., — этот факт выражается повторением символа соответствующей категории.

В таблице учтены не все комбинаторно возможные соединения. Так, в ней нет mPt , PtP и т. д., поскольку эти комбинации можно рассматривать как последовательное соединение переходов, учтенных в таблице. Отсутствуют также комбинации типа tmR , Ptm , поскольку вещь в качестве вещи не интерпретирует и не преддицирует другой вещи, а переходы от одной категории к другой у нас осуществляются с помощью этих операций. Что касается двучленных комбинаций типа PR и RP , то их отсутствие обусловлено тем, что свойство или отношение имеет место лишь в том случае, если они преддицируются некоторой вещью. Взятые же сами по себе или как некоторый субъект преддицирования они выступают в функции вещи, т. е. при функциональном понимании этой кате-

Т А Б Л И Ц А

№ строки	I	II	III
1	m	P	
2	m	R	
3	P	m	
4	R	m	
5	m	P	P
6	m	R	R
7	P	P	m
8	R	R	m
9	m	P	R
10	m	R	P
11	P	R	m
12	R	P	m

гории сами являются вещью. В результате PR тождественно с Pm , а RP — с Rm . Сказанное не противоречит тому, что в таблице приведены комбинации PPm , mRP и т. д., где предполагаются свойства или отношения, предидируемые не непосредственно вещи, а другому свойству или отношению. Указанные комбинации рассматриваются как сокращенное выражение для операции приписывания свойства такой вещи, которая затем сама выступает в функции свойства другой вещи (PPm), нахождение в вещи отношения, которое затем само выступает в функции вещи, являющейся субстратом некоторого свойства (mRP), и т. д.

Рассмотрим теперь вопрос о методах исследования, соответствующих строчкам приведенной таблицы. Первой и второй строчкам соответствует метод, который можно назвать методом конкретного исследования. Здесь предполагается заранее данной вещь m , у которой в результате исследования определяется некоторое свойство P или отношение R . Первый случай можно назвать атрибутивным, а второй — релятивным конкретным исследованием. В обоих случаях m представляет собой предмет исследования; $(m)P$ и $R(m)$ — его результаты.

В качестве примера применения первого метода можно назвать процесс обнаружения того, что сахар сладок, а второй метод мы применяем, например, тогда, когда определяем, какой из двух братьев старше или какая из посылок силлогизма является большей.

Метод, соответствующий третьей строчке таблицы, можно назвать методом с у б с т а н т и в а ц и и. В этом случае мы подыскиваем носитель-субстрат для заранее данного свойства. Таково, например, развитие мысли физика, обнаружившего, что субстратом теплоты является теплород или что носителем отрицательного электричества является особая корпускула — электрон. Конечные результаты атрибутивного конкретного исследования и субстантивации имеют одинаковую структуру — $(m)P$. Но пути к достижению этого результата в обоих случаях различны. При субстантивации m не является предметом исследования.

Четвертая строчка соответствует методу и н т е р п р е т а ц и и. Когда мы находим, что отношение «больше» имеет место между Одессой и Николаевом, Юпитером и Сатурном и т. д., то и здесь применяется этот метод. Результат применения метода интерпретации совпадает с результатом релятивного конкретного исследования, однако направления этих исследований противоположны. В одном случае m — предмет исследования, в другом m — м о д е л ь в одном из распространенных, особенно в математике, смыслов этого термина. Метод интерпретации лежит в основе некоторых форм моделирования.

Пятой строчке таблицы соответствует метод и з о л и р у ю щ е й а б с т р а к ц и и. Свойство предмета m рассматривается как особый предмет, у которого в свою очередь также обнаруживаются свойства. Подобным образом мы рассуждаем, например, когда определяем температуру как скалярную величину, скорость — как векторную величину и т. д.

Изолирующая абстракция соответствует также и шестой строчке. Однако в этом случае абстрагируется не свойство, а отношение. И в этом отношении, рассматриваемом как предмет, определяется новое отношение. Например, анализ структуры объекта, когда определяются отношения между отдельными отношениями, составляющими эту структуру, соответствует рассматриваемой схеме.

В седьмой и восьмой строчках таблицы представлен противоположный исследовательский процесс. Когда ищется пример скалярного свойства и затем пример объекта, обладающего этим свойством, то мысль развивается по схеме, соответствующей седьмой строчке. Такой процесс можно назвать методом с л о ж н о й (двукратной) с у б с т а н т и в а ц и и.

Метод, соответствующий восьмой строчке, можно назвать методом с л о ж н о й (двукратной) и н т е р п р е т а ц и и. В этом случае для отношения подыскивается носитель и затем последний рассматривается как отношение, для которого ищется новый носитель. Таким образом развивается, например, мысль, когда мы интерпретируем число 2 как отношение между числами 6 и 3, а последние — как отношения, соответственно, между 24 и 4 и между 27 и 9.

В последовательности mPR (девятая строчка) довольно точно выражается суть того метода, который К. Маркс назвал методом восхождения от абстрактного к конкретному (подчеркнем, что речь идет о весьма абстрактном выражении этого метода). «Конкретное потому конкретно, что оно есть сочетание многочисленных определений, являясь единством многообразного» [13, стр. 213]. Сочетание многочисленных определений, их единство можно представить как некоторое отношение. Такое отношение порождает конкретное. Оно имеет место между такими объектами, которые сами в свою очередь были абстрагированы в качестве свойств от объектов чувственного восприятия. «В мышлении оно (конкретное.—А. У.) поэтому представляется как процесс соединения, как результат, а не как исходный пункт, хотя оно представляет собой действительный исходный пункт и, вследствие этого, также исходный пункт созерцания и представления. На первом пути полное представление испаряется до степени абстрактного определения; при втором же абстрактные определения ведут к воспроизведению конкретного путем мышления» [13, стр. 213].

Такой метод, конечно, нельзя рассматривать как специфический лишь для экономических исследований К. Маркса. Сфера его применения значительно шире. Это один из важнейших методов современного теоретического исследования [14]. Преимущества, по сути дела, такого метода подчеркнуты в работе Э. Г. Юдина и В. Н. Садовского [15]. Противопоставляя методу конкретного исследования, описанного у нас схемой mP , более совершенный метод, они пишут: «Однако исследовательская задача может содержать требования, для удовлетворения которых недостаточно получить эмпирическое описание свойств объекта. Например, это может быть задача определения *зависимости между свойствами*, т. е. найти закон их взаимного изменения. Решение такого рода задачи может быть связано с непосредственным воздействием на исследуемый объект, а может и не требовать подобного воздействия. Но в любом случае непосредственный объект оперирования существенно отличен от того, что мы имели в задаче первого типа: теперь исследованию подвергается не «объект, как таковой», а его свойства, выявленные в предшествующем исследовании. Решение задачи второго типа дает результат, в научном и практическом отношениях гораздо более значимый, чем простое эмпирическое описание свойств объекта. Коротко это возрастание значимости результата может быть выражено в двух моментах: во-первых, знание закона взаимозависимости свойств (выражаемое обычно в формальном виде) позволяет существенно расширить сферу использования объекта, во-вторых, знания, принявшие такую форму, создают возможность не только непосредственного использования объекта и его свойств, но и построения «искусственных» объектов, в основу конструкции которых положен принцип действия, так или иначе вытекающий из этого знания (закона)» [15, стр. 38].

Следующая — десятая строчка таблицы определяет последовательность категорий, характерную для аксиоматического метода. Процесс аксиоматизации обычно заключается в выделении из области предметов, подвергаемых анализу, некоторых отношений и затем фиксации их свойств в форме аксиом. В качестве примера можно сослаться хотя бы на аксиоматику геометрии, построенную Д. Гильбертом [16].

Последние две строчки таблицы соответствуют, с нашей точки зрения, методам системного исследования. Здесь самым важным обстоятельством является то, что вещи m не предшествуют P и R , а следуют за ними. Это означает, что вещи исследуются не сами по себе, а в плане определенных P и R .

«Завершающее» место, которое занимает m , характеризует, однако, не только одиннадцатую и двенадцатую строчки таблицы, но также третью, четвертую, седьмую и восьмую. Поэтому такое положение m , являясь необходимым, вместе с тем не представляет собой достаточного условия системного подхода. Если принять ту точку зрения, согласно которой приписывание предмету его свойства не образует нового предмета в противоположность установлению отношения в данной вещи, которое всегда формирует новую вещь [17], то становится ясным, почему третья, т. е. Pm , и седьмая, т. е. PRm , строчки не выражают сущности системного подхода.

Подходя с системной точки зрения к объектам m , мы образуем из них систему, т. е. формируем новый объект m' . Это можно сделать лишь при помощи отношения, которое должно иметь, таким образом, место в последовательности категорий, характеризующей метод. Символ отношения имеет место, кроме одиннадцатой и двенадцатой, также в четвертой и восьмой строчках нашей таблицы, также завершающихся символом m . Однако последовательности Rm и RRm можно рассматривать как особые, вырожденные случаи PRm .

При нахождении интерпретации R важно, чтобы R предшествовало m . Это требование выражается в четвертой строчке порядком символов — Rm , но оно может быть выражено также и как PRm , поскольку предшествование m представляет собой некоторое свойство отношения R , обладание которым является необходимым условием рассмотрения R в данном методе.

Что касается RRm (восьмая строчка), здесь также предшествование m и следование за первым R можно рассматривать как некоторое предшествующее свойство второго R , т. е. схему восьмой строчки можно рассматривать как особый случай схемы PRm . В связи со сказанным может возникнуть вопрос о том, что в схеме двенадцатой строчки RPm отношение непосредственно относится к свойствам P , а не к объектам m . Однако, поскольку P приписывается m , отношение между признаками m означает вместе с тем и некоторое отношение в m , которое и образует новый объект — систему.

3. Системные параметры и общесистемные закономерности

Теперь рассмотрим вопрос о преимуществах метода системного исследования. Для этого противопоставим его другим методам— прежде всего методу конкретного исследования, т. е. mP , который обычно применяется в сфере эмпирического знания. Выберем вещь, скажем, кусок проволоки и будем ее исследовать. Выбор вещи превращает m в константу \dot{m} . Пусть в результате исследования оказалось, что по проводнику идет ток \dot{P} , т. е. имеется $(\dot{m})\dot{P}$. Ценность такого результата определяется конкретными условиями места и времени. Если для нас важно, чтобы в этом куске проволоки в данный момент был ток или его не было, то полученный результат существен. Но его нельзя распространить на другой кусок проволоки, не говоря уже об объектах совершенно иной природы. В этом смысле значение полученного результата является весьма ограниченным.

То же самое можно сказать и об установлении отношения в данном конкретном предмете, т. е. об исследовании по схеме mR .

Гораздо большее значение имеет, как об этом свидетельствует приведенная выше цитата из работы Э. Г. Юдина и В. Н. Садовского, определение соотношения между объектами, выступающими в качестве свойств других объектов, т. е. исследование по схеме mPR . Так, определив, что ток, обнаруженный в проводнике, и напряжение на его концах связаны соотношением $I = \frac{v}{R}$, мы переносим это знание на другие проводники и тем самым значительно расширяем сферу применения полученного результата. То же можно сказать о любых других физических законах, например $F = ma$, $Pv = RT$ и т. д. Однако, сколь бы общий характер ни носил физический или какой-либо другой закон, сфера его применения по необходимости ограничена областью объектов, обладающих соответствующими свойствами. Так, закон Ома можно применить лишь к тем объектам, относительно которых имеет смысл говорить, идет по ним ток или нет. Применять закон Ома, например, к силлогизмам бессмысленно.

Правда, с крайне формальной точки зрения можно считать, что силлогизм представляет собой такой случай, когда напряжение на концах проводника равно нулю и ток также равен нулю. Точно так же можно полагать, что здесь применим второй закон Ньютона при $F = 0$ и $a = 0$. Соответственно можно было бы рассматривать силлогизм как газ, лишенный объема и веса, при абсолютном нуле. Однако совершенно очевидно, что в этом случае мы имели бы игру словами, лишенную научного содержания.

В отличие от представления объектов в качестве газа, проводника или материальной точки системное представление объектов универсально. Как подчеркивалось выше, любые объекты представимы в качестве систем. Поэтому закономерности, установлен-

ные относительно систем, являлись бы вполне универсальными, применимыми в любой области исследования.

Здесь возникает опасение, что полученные таким образом универсальные закономерности будут иметь тривиальный характер. Об этих опасениях говорит М. Месарович: «Ясно, что чем более абстрактно некоторое высказывание, тем на более широкий круг объектов оно распространяется, но одновременно тем меньше несет оно информации относительно поведения любой конкретной системы. Общие понятия должны подчеркивать то общее, что есть в поведении рассматриваемых систем, и пренебрегать частностями, характерными для поведения каждой конкретной системы в отдельности. Поэтому наибольшую трудность при построении любой общей теории представляет выбор нужного уровня общности, или абстрагирования» [1, стр. 18]. Такая же мысль выражается и в других работах, в том числе в тезисах доклада А. И. Умова и В. Н. Костюка на симпозиуме по кибернетике в Тбилиси [18].

Мы считаем, что в этих высказываниях игнорируется специфика системного исследования. Указанная трудность возникает в том случае, если иметь в виду свойства объекта m , вне его специфически системного представления. Чем большее число свойств включается в число компонент вещи m , тем более богатым содержанием признаки могут быть ему приписаны. Конкретный кусок меди или конкретный человек, скажем Иван, может быть охарактеризован весьма содержательно. Иное дело — проводник вообще или человек вообще. Обедняя содержание вещи, мы в конце концов получим возможность приписывать ей лишь предикаты типа «идеальный» — «материальный». Здесь мы находимся в сфере применимости закона обратного отношения между объемом и содержанием понятий. И вряд ли можно найти выход в определении некой оптимальной меры общности, поскольку, повышая информационную значимость утверждений в плане расширения области их применимости, мы всегда теряем в плане информационной значимости содержания, и наоборот. Функция, описывающая такого рода процесс, безусловно, может иметь некоторые экстремальные значения, но даже если они и будут найдены, то это не даст больших преимуществ.

Радикальный выход может быть найден с помощью свойств особого типа, которые мы будем называть параметрическими. Если обычные свойства объекта m представляют собой отношения этого объекта к другому, внешнему объекту — m' , то параметрические свойства объекта m — это его отношения второго порядка, в число компонент которых входят свойства или отношения, реализуемые на этом же объекте.

Пусть m присуще P , т. е. имеется $(m)P$. Можно определить отношения второго порядка — между m и P . Такими отношениями могут быть, например, «присуще всему» или «присуще части». В нашем примере с проводником свойство «наличие тока» присуще

всему проводнику, так как невозможно, чтобы ток имел место в одной части проводника и отсутствовал в другой. Обозначим отношение «присуще всему» готическим символом \mathfrak{F}_1 . Готический символ используется для отличия отношения второго порядка от отношения первого порядка, обозначаемого латинским символом.

Все объекты m , которые находятся в отношении \mathfrak{F}_1 к своему свойству P , назовем условно *ц е л ь н ы м и*. В противном случае объекты будут считаться *н е ц е л ь н ы м и*. Свойство цельности, согласно данному выше определению, будет параметрическим. Преимущество использования свойства второго порядка в отличие от обычных свойств типа «пропускает ток», «имеет объем V_1 » и т. д. заключается в том, что такое свойство или его отрицание и м е е т с м ы с л п р и п и с ы в а т ь л ю б о м у о б ь е к т у. Термин «имеет смысл» употребляется здесь на интуитивном уровне, который вполне достаточен для наших целей. Ясно, что не имеет смысла спрашивать, проводит ли силлогизм ток, каков его объем и давление, однако любые объекты — силлогизмы и велосипеды, падежи и верблюды — могут быть охарактеризованы с точки зрения их цельности. Это связано с тем, что отношение $\mathfrak{F}_1(P, m)$ определено в отвлечении от конкретных свойств P и m . Поэтому параметрическое свойство \mathfrak{F}_1 может иметь место в различных m и даже в том случае, если допустить, что объекты m настолько отличаются друг от друга, что не обладают ни одним общим свойством первого порядка. (Неважно, реализуется ли этот случай в действительности.)

Закономерность, связывающая параметрические свойства $\mathfrak{F}(\mathfrak{F}_1, \dots, \mathfrak{F}_n)$, может иметь универсальную область применения.

В приведенных выше рассуждениях умышленно опускалось одно очень важное обстоятельство. Объект m может обладать или не обладать данным параметрическим свойством \mathfrak{F}_1 в зависимости от того, к а к о е с в о й с т в о п е р в о г о п о р я д к а P р а с с м а т р и в а е т с я. В нашем примере с проводником свойство «проводит ток» присуще всему проводнику. Однако если в качестве P взять другое свойство, скажем «состоять из меди», то оно может быть присуще лишь части проводника. Таким образом, отношение m к своему свойству P будет меняться в зависимости от того, какое берется свойство.

Поэтому мы должны заранее знать то P или R , в отношении к которому определяется параметрическое свойство m . Это означает переход к специфически системной точке зрения. До сих пор мы не пользовались системным представлением объекта, поскольку следовали схеме mP .

В этом случае переменная m связывает переменную P . Однако эта связь не настолько тесная, чтобы превратить P в константу \dot{P} . Таким образом, выбор m не предопределяет выбор P . Совершенно иная картина в том случае, если мы рассматриваем m с системной точки зрения. Следуя схемам PRm или RPm , мы выбираем сначала свойства и отношения и лишь на конечном этапе выбираем m . По-

этому, определяя m как систему, мы уже имеем P и R , в отношении к которым может быть определено параметрическое свойство. Таким образом, деление систем по параметрическим свойствам всегда имеет смысл. Параметрические свойства систем будем называть системными параметрами в узком смысле этого слова. В более широком смысле системный параметр — всякий признак, по которому можно классифицировать любые системы, независимо от того, выражает ли такая классификация специфику системного метода исследования [9] [19].

В зависимости от того, является ли системный параметр точечным, линейным, трехмерным и т. д. свойством [12] [20], можно говорить о точечных, линейных, трехмерных и т. д. системных параметрах.

Примерами линейных системных параметров можно считать такие параметры, как простота, надежность. По этим свойствам системы можно распределить в ряд — более или менее простые, более или менее надежные.

В качестве примеров точечных системных параметров приведем следующие:

а) *Авторегенеративность по элементам* — способность системы спонтанно восстанавливать свои элементы в процессе обычного функционирования. Этим параметром обладает дождевой червь, вид Солнца на небе, покрытом облаками, и т. д.

б) *Авторегенеративность по отношениям* — способность системы спонтанно восстанавливать отношения между элементами (пружина, верные друзья и т. д.).

в) *Внешняя регенеративность по элементам* — способность системы восстанавливать свои элементы в результате воздействия другой системы (стул, изображение квадрата и т. д.).

д) *Внешняя регенеративность* — способность системы восстанавливать свои отношения в результате воздействия другой системы (разбросанные по полу кубики, город и т. д.).

е) *Имманентность* — множество элементов системы включает в себя все корреляты системообразующего отношения R (планетная система, ряд натуральных чисел).

ф) *Минимальность* — система разрушается при удалении хотя бы одного элемента (треугольник, супружеская пара).

г) *Стабильность по структуре* — способность системы сохраняться при тех или иных изменениях структуры, которые представляются системообразующим отношением R .

Общесистемным утверждением можно считать утверждение, выражающее зависимость между системными параметрами — $f(\Phi_1, \dots, \Phi_n)$. Такое утверждение в отличие от утверждений конкретных наук, таких, как физика, химия и т. д., имеет универсальную область применимости. Оно может быть использовано двояко: или как методологический принцип, применение которого оптимизирует процесс конкретно-научного исследования —

в этом отношении оно аналогично логико-математическим средствам исследования, или непосредственно, в том случае, если среди связанных системных параметров имеется практически значимый и мы желаем найти способы создания систем, обладающих этим параметром. К последнему случаю относятся, например, проблемы, связанные с упрощением систем, повышением их надежности и т. д.

Общесистемные утверждения могут быть обоснованы тремя способами. Первый способ — чисто теоретический, когда связь между параметрами устанавливается на основе их определений с помощью того или иного логико-математического аппарата. Здесь можно пользоваться либо известными аппаратами, либо создавать специально приспособленный для решения задачи аппарат [21]. Работы, связанные с нахождением логических мер простоты [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29], можно рассматривать в качестве частного случая такого подхода — обычно на базе языка узкого исчисления предикатов.

Второй способ имеет эмпирический характер. Рассматриваются большие массивы различного типа систем, и на основе анализа сочетаемости системных параметров в этих системах с помощью ЦВМ или специально сконструированной логической машины определяются связи между этими параметрами [30] [31]. Анализ около 1000 различных систем с помощью ЦВМ позволил выделить, например, следующие зависимости между приведенными выше точечными системными параметрами*:

1) Ни одна авторегенеративная по отношениям система не является минимальной (нет исключений).

2) Все авторегенеративные по элементам, но не авторегенеративные по отношениям системы являются внешнерегенеративными по элементам (нет исключений).

3) Все авторегенеративные по элементам, но не авторегенеративные по отношениям системы являются имманентными (2 исключения).

4) Все авторегенеративные по элементам и отношениям системы являются внешнерегенеративными по отношениям (2 исключения).

5) Ни одна авторегенеративная по элементам система, не обладающая свойством внешней регенеративности по элементам, не является минимальной (нет исключений).

6) Все авторегенеративные по элементам, но не внешнерегенеративные по элементам системы являются стабильными (нет исключений).

7) Ни одна авторегенеративная по элементам, но не внешнерегенеративная по отношениям система не является минимальной (нет исключений).

* В работе принимали участие Б. В. Плесский, Г. Я. Портнов, В. И. Богданович, Л. Н. Сумарокова и А. В. Моин. Программа для машины «Урал-2» составлена Г. Я. Портновым и Г. Бретавским.

8) Не существует систем, обладающих одновременно параметрами авторегенеративности по элементам и отношениям, внешнерегенеративности по отношениям и имманентности (нет исключений).

9) Не существует систем, обладающих одновременно параметрами авторегенеративности по элементам и отношениям, внешней регенеративности по отношениям и минимальности (нет исключений).

10) Не существует систем, обладающих одновременно параметрами авторегенеративности по элементам и отношениям, имманентности и минимальности (нет исключений).

11) Не существует систем, обладающих одновременно параметрами авторегенеративности по элементам, имманентности, минимальности и стабильности (нет исключений).

12) Не существует систем, обладающих одновременно параметрами регенеративности по элементам и отношениям, минимальности и стабильности (нет исключений).

В тех случаях, когда имеются исключения, полученные результаты можно улучшить путем выявления параметров, общих для исключений, и введения их в рассмотрение. Большие перспективы открываются также перед применением корреляционного анализа.

Выбор системных параметров в рассмотренном примере имеет более или менее случайный характер. Его можно сделать более целенаправленным в том случае, когда ставится та или иная специфическая задача. Отметим также возможности оптимизации выбора параметров на базе уже проделанных статистических исследований. Обозначив наличие и отсутствие системных параметров с помощью 1 и 0 в той последовательности, в которой точечные системные параметры были приведены выше, получим различные типы систем, выражаемые определенным числом в бинарной системе. Оказывается, что среди многообразия возможных типов систем некоторые типы значительно преобладают. Из тысячи систем, подвергнутых анализу, 12% оказались принадлежащими к типу 0111101, 26,6% — к типу 0011100 и 23,8% — к типу 0011101. Указанные комбинации системных параметров могут рассматриваться как новые системные параметры второго уровня (см. [10] [31]).

Установление связи между параметрами второго уровня может дать более ценные результаты в том смысле, что они будут иметь менее очевидный с интуитивной точки зрения характер. Дальнейшее рассмотрение проблем, связанных с эмпирическим исследованием зависимостей между системными параметрами, выходит за рамки настоящей статьи.

Третий путь обоснования общесистемных закономерностей заключается в том, чтобы взять некоторые из эмпирически обоснованных положений в качестве аксиом и из них выводить с помощью тех или иных правил вывода другие отношения между системными параметрами. В результате можно будет осуществить аксиоматическое построение общей теории систем.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М е с а р о в и ч М. Основания общей теории систем. — «Общая теория систем». М., 1966.
2. H a l l D., F a g e n R. Definition of System. — «General Systems», v. I, 1956.
3. B e r t a l a n f f y L. von. General System Theory. — «General Systems», v. I, 1956.
4. У е м о в А. И. О диалектико-материалистическом понимании связей между явлениями. — «Философские науки», 1958, № 1.
5. З и н о в ь е в А. А. К определению понятия связи. — «Вопросы философии», 1960, № 8.
6. Д м и т р е в с ь к а І., П о п о в а І., С у м а р о к о в а Л., Т е р е н ь т ь е в а Л., У й о м о в А. Системи і методи їх досліджень. — «Юбилейна наукова сесія, присвячена 100-річчю ОДУ. Суспільні, історичні та юридичні науки». Одеса, 1965.
7. С а д о в с к и й В. Н. К вопросу о методологических принципах исследования объектов, представляющих собой системы. — «Проблемы методологии и логики наук». Томск, 1962.
8. М а л и н о в с ь к и й О. О., У й о м о в А. І. Типи систем і основні біологічні закономірності. — «Організм як система». Київ, 1966.
9. У е м о в А. И. Основные принципы классификации систем. — «Материалы к симпозиуму по логике науки». Киев, 1966.
10. У е м о в А. И. Системы и системные исследования. — «Проблемы методологии системного исследования». М. (в печати).
11. У е м о в А. И. К вопросу об определении понятия «система». — «Некоторые теоретические вопросы коммунистического строительства в СССР». Одеса, 1967.
12. У ъ м о в А. И. Вещи, свойства и отношения. М., 1963.
13. М а р к с К. К критике политической экономии. М., 1950.
14. К о с т ю к В. Н. О конкретности теоретических абстракций. Канд. дисс. Киев, 1965.
15. Ю д и н Э. Г., С а д о в с к и й В. Н. Системно-структурные исследования и их место в современной науке». — «Категория структуры и развитие физики элементарных частиц». Материалы конференции. Дубна, 1966.
16. Г и л ь б е р т Д. Основания геометрии. М.—Л. 1948.
17. U j o m o v A. I. Dinge, Eigenschaften und Relationen. Nachwort. Berlin, 1965.
18. У е м о в А. И., К о с т ю к В. Н. О методологии и логике системного исследования. — «Вопросы логики и методологии общей теории систем». Материалы к III Всесоюзному симпозиуму по кибернетике. Тбилиси, 1967.
19. У е м о в А. И. Системы и системные параметры. — «Проблемы формального анализа систем». М., 1963.
20. Свойство. — «Философская энциклопедия», т. IV, М., 1967.
21. У е м о в А. И. Об одном варианте логико-математического аппарата системного исследования. — «Проблемы формального анализа систем». М., 1963.
22. G o o d m a n N. Axiomatic Measurement of Simplicity. — «The Journal of Philosophy», v. 52, 1955.
23. К е м е н у J. Two Measures of Complexity. — «The Journal of Philosophy», v. 52, 1955.

24. У е м о в А. И., С у м а р о к о в а Л. Н., Д м и т р е в с к а я И. В. К вопросу об измерении простоты. — «Методологические проблемы теории измерений». Киев, 1966.
25. У е м о в А. И. Проблема построения общей теории упрощения научного знания. — «Логика и методология науки». М., 1967.
26. С у м а р о к о в а Л. Н. К вопросу о критериях простоты грамматических систем. — «Логика и методология науки». М., 1967.
27. П л е с с к и й Б. В., Т е р е н т ь е в а Л. Н. К проблеме простоты физических законов. — «Логика и методология науки». М., 1967.
28. Б и р ю к о в Б. В., Т ю х т и н В. С. О понятии сложности. — «Логика и методология науки». М., 1967.
29. К о с т ю к В. Н. Оценка простоты систем с точки зрения принципа разнообразия. — «Материалы к симпозиуму по логике науки». Киев, 1966.
30. У е м о в А. И. Аналогия в современной технике. Приложения. Канд. дисс. М., 1952.
31. У е м о в А. И., Б о г д а н о в и ч В. И., П л е с с к и й Б. В. Общие методы эмпирического исследования зависимостей между параметрами систем. — «Проблемы формального анализа систем». М., 1968.

ТЕОРИЯ СИСТЕМ КАК ТЕОРИЯ ОТНОШЕНИЙ

В. Н. КОСТЮК

Один из возможных подходов к общей теории систем основан на общефилософской концепции вещей, свойств и отношений, изложенной в [5]. Учитывая, однако, что попытки «триединого» подхода к построению общей теории систем, включающего одновременно вещи, свойства и отношения, связаны с большими техническими трудностями, мы выделяем отношения в качестве основного звена в совокупности вещь — отношение — свойство. Это сулит, с нашей точки зрения, значительные технические упрощения в построении общей теории систем без потери основного содержания исходной концепции. Мы исходим из того, что если задано некоторое отношение, то тем самым заданы свойства этого отношения и (неявно) класс вещей, на которых это отношение может быть реализовано.

По-видимому, с этой фундаментальной ролью отношений связана тенденция современной науки «заменять» вещи отношениями. Например, в физике элементарных частиц теория «матрицы рассеяния» рассматривает физическое бытие просто как последовательность взаимных действий (отношений). Примеры такого рода подкрепляют тезис, согласно которому достаточно общая теория систем, в основе которой лежат отношения, возможна по крайней мере в качестве объекта обсуждения.

В основе системного применения теории отношений лежит следующее фундаментальное определение [3]. Пусть задана совокупность множеств A_1, A_2, \dots, A_n . Образует их прямое произведение

$$A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n.$$

Тогда абстрактной системой S (относительно A) называется любое собственное подмножество A :

$$S \subset A. \quad (1)$$

Иначе говоря, абстрактной системой называется любое n -отношение, определенное на A .

Если множество A конечно, то абстрактные системы назовем конечными. В дальнейшем будем рассматривать только конечные абстрактные системы, определяемые n -отношениями.

Множества A_1, \dots, A_n называют обычно базисными множествами n -отношения. Если $A_1 = \dots = A_n$, то n -отношение называется однородным.

Пусть R — некоторое n -отношение. Стандартным способом его изучения является выявление его проекций, или, используя системную интерпретацию n -отношений, выявление подсистем исходной системы R .

m -проекцией ($1 \leq m \leq n$) n -отношения R

$$pr_{k_1, \dots, k_m} R \subset A_{k_1} \times \dots \times A_{k_m},$$

где k_1, \dots, k_m — m различных чисел из $\langle 1, 2, \dots, n \rangle$, называется совокупность всех тех m -ок $(a_{k_1}, \dots, a_{k_m})$, для которых существуют $a_{k_{m+1}}, \dots, a_{k_n}$ такие, что

$$(a_{k_1}, \dots, a_{k_m}, \dots, a_{k_n}) \in R.$$

m -проекция при $m < n$ называется собственными, а при $m = n$ несобственными. Понятно, что несобственная n -проекция R совпадает с самим R . Подробная теория n -отношений содержится в [1].

Если $n = 2$, то n -отношение называется бинарным. Теория бинарных отношений изложена, например, в [4].

Если n -отношение, описывающее систему, является бинарным, то оно получает простое и наглядное представление с помощью нуль-единичной матрицы.

Пусть $R \subset A_1 \times A_2$ — некоторое бинарное отношение, $A_1 = \langle a_1^1, \dots, a_n^1 \rangle$, $A_2 = \langle a_1^2, \dots, a_m^2 \rangle$. Поставим в соответствие R прямоугольную матрицу из m строк и n столбцов, записывая единицу на пересечении i -ой строки и j -го столбца, если $(a_i^1, a_j^2) \in R$, и нуль в противном случае. Назовем такую матрицу представляющей бинарное отношение R . Расположение нулей и единиц по строкам и столбцам матрицы может давать информацию о свойствах бинарного отношения.

Матрица, соответствующая R' , или дополнению R , получается из матрицы, соответствующей R , заменой нулей на единицы и единиц на нули.

Пусть $R_1 \subset A_1 \times A_2$, $R_2 \subset A_1 \times A_2$. Тогда $R_1 \cap R_2$ и $R_1 \cup R_2$ также определены на $A_1 \times A_2$, причем представляющие матрицы для них получаются обычным сложением матриц, представляющих R_1 и R_2 , но с выполнением следующих двух условий:

$$1) 0 \cap 0 = 0 \cap 1 = 1 \cap 0 = 0, 1 \cap 1 = 1,$$

$$2) 0 \cup 0 = 0, 0 \cup 1 = 1 \cup 0 = 1 \cup 1 = 1.$$

Выражение бинарных отношений с помощью представляющих матриц обнаруживает тесную связь теории бинарных отношений с вариантом теории систем, рассмотренным О. Ланге [8].

Исходным в теории Ланге является понятие элемента E , зависящего от среды и воздействующего на нее. Ланге принимает, что: 1) воздействие среды на элемент E приводит к появлению в E вполне определенных состояний (например, температура, давление, заряд, ощущение), называемых входами E , 2) воздействие элемента E на среду также приводит к появлению в E определенных состояний (температура, магнитное поле, цвет и т. п.), называемых выходами E , 3) каждый элемент E имеет по крайней мере один вход и один выход, множество входов и выходов E конечно, 4) состояния входов однозначно определяют состояния выходов.

Состояния входов и выходов можно представлять с помощью чисел, а сами входы и выходы — векторами, компонентами которых являются эти числа. Пусть $\bar{x} = \langle x_1, \dots, x_m \rangle$ — вектор входа, $\bar{y} = \langle y_1, \dots, y_n \rangle$ — вектор выхода. Тогда действие элемента E можно выразить преобразованием \bar{x} в \bar{y}

$$\bar{y} = \Pi(\bar{x}). \quad (2)$$

Различные элементы воздействуют друг на друга только через свои входы и выходы. Для изображения воздействия элемента $E_1(\bar{x}^1, \bar{y}^1)$ на элемент $E_2(\bar{x}^2, \bar{y}^2)$ Ланге вводит квадратную матрицу S_{12} , составленную из $M = \max(m, n)$ строк и столбцов. Элемент (i, j) этой матрицы, где $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$, есть единица, если $\bar{x}_j^2 = \bar{y}_i^1$, и нуль в противном случае. В результате получаем нуль-единичную матрицу специального вида. В этой матрице по крайней мере один элемент есть единица, и в каждой строке (столбце) имеется самое большее одна единица. Матрицу S_{12} называют матрицей связи E_1 с E_2 .

Совокупность связанных элементов Ланге называет системой [8, стр. 26]. Можно показать, что нуль-единичные матрицы, описывающие системы Ланге, укладываются в указанную выше теорию бинарных отношений.

Если $n > 2$, то матричное представление n -отношений тоже возможно, но уже с помощью пространственных матриц. Несмотря на некоторые усложнения, матричное представление и здесь оказывается весьма полезным.

С помощью представляющих матриц можно рассматривать достаточно важные вопросы, относящиеся к строению систем. В качестве примера рассмотрим вопрос о способах оценки сложности системы, отождествляя сложность системы и сложность ее представляющей матрицы.

Обозначим через R_{N_1, N_0} отношение, представляющая матрица которого содержит N_1 единиц и N_0 нулей, $N_1 + N_0 = N$. Сложность отношения R_{N_1, N_0} обозначим символом $S(R_{N_1, N_0})$, снабжая S , в случае необходимости, нижними и верхними индексами.

Допустим, что при вычислении сложности какого-либо объекта должны выполняться следующие условия (см., например, [6] [7] [2]):

У1. Сложность любого объекта неотрицательна, т. е.

$$S(R_{N_1, N}) \geq 0.$$

У2. Сложность объекта пропорциональна допускаемому им разнообразию (например, числу исключений или несводимых друг к другу случаев).

Допустим также, что числа N и N_1 (или N и N_0) составляют все, что мы знаем об отношении $R_{N_1, N}$. Сформулируем в связи с этим еще одно условие:

У3. Функция сложности $S(R_{N_1, N})$ должна зависеть только от N и N_1 , т. е.

$$S(R_{N_1, N}) = f(N_1, N).$$

Наша задача состоит теперь в том, чтобы найти функцию сложности, т. е. функцию, удовлетворяющую У1 — У3.

Достаточно простая функция, удовлетворяющая У1 — У3, получается следующим образом:

$$S_1(R_{N_1, N}) = \log_a \frac{N!}{N_1!(N - N_1)!}. \quad (3)$$

Основание a логарифма в (3) ограничено условием $a > 1$. Мы положим $a = 2$, чтобы измерять количество сложности в битах.

Для больших N функция (3) допускает аппроксимацию с помощью формулы Стирлинга

$$S_1(R_{N_1, N}) = N \log_2 N - N_1 \log_2 N_1 - (N - N_1) \log_2 (N - N_1). \quad (4)$$

Если нули и единицы распределены в представляющей матрице поровну, т. е. если $N_1 = N/2$, то выражение (4) приобретает весьма простой вид

$$S_1(R_{N/2, N}) = N.$$

Если $N_1 = 0$ или $N_0 = 0$, то

$$S_1(R_{0, N}) = S_1(R_{N, N}) = 0. \quad (5)$$

Кроме того, из (3) следует, что

$$S_1(R_{1, N}) = S_1(R_{N-1, N}) = \log_2 N. \quad (6)$$

Первые из равенств (5) и (6) можно рассматривать как частный случай более общего равенства, вытекающего из (3)

$$S_1(R_{N_1, N}) = S_1(R_{N-N_1, N}). \quad (7)$$

Иначе говоря, сложность представляющей матрицы не изменится, если заменить в ней нули единицами, а единицы нулями.

Сопоставляя (7) с предыдущими результатами, мы видим, что

$$\begin{aligned} S_1(R_{0,N}) = S_1(R_{N_1,N}) &= 0, & (\min) \\ S_1(R_{N/2,N}) &= N. & (\max) \end{aligned}$$

Таким образом, величина сложности отношения $R_{N_1,N}$ не может превышать числа элементов в его представляющей матрице

$$0 \leq S_1(R_{N_1,N}) \leq N. \quad (8)$$

Обратимся к интерпретации (3). Допустим сначала, что отношение $R_{N_1,N}$ вполне характеризуется числами N_1 и N , и дополнительная информация, которую мы можем получить, не увеличивает нашего знания о такой системе. Это можно понимать в том смысле, что N_1 единиц отношения $R_{N_1,N}$ могут быть расположены на любых N_1 клетках из общего числа N клеток, или, что то же, N_1 единиц случайно расположены на N клетках представляющей матрицы. В этом случае отношение $R_{N_1,N}$, вполне определяемое числами N_1 и N , естественно назвать стохастическим отношением (точнее, стохастическим отношением, для которого каждое из $C_N^{N_1}$ возможных расположений N_1 единиц на N клетках имеет одинаковую вероятность, равную $1/C_N^{N_1}$).

Если, напротив, сложность отношения $R_{N_1,N}$ зависит не только от чисел N_1 и N , а еще и от других неизвестных факторов, то условие УЗ не удовлетворяется и выражение (3) уже не может считаться хорошей оценкой сложности $R_{N_1,N}$. Однако мы можем быть вынужденными пользоваться (3) в силу незнания остальных факторов, влияющих на сложность $R_{N_1,N}$. В этом случае (3) можно интерпретировать как оценку типа сложности отношения или системы.

Величиной, определяющей тип сложности, является N_1 (или N_0): отношения с одинаковым числом единиц (нулей) принадлежат одному и тому же типу сложности. Из (7) видно, что существует $[N/2] + 1$ различных типов сложности, которые получаются, когда N_1 пробегает значения от 0 до $[N/2]$ (или N_0 пробегает значения от N до $[N/2]$). Здесь $[N/2]$ означает наибольшее целое число, не превосходящее $N/2$. Соотношение (7) показывает также, что типы сложности замкнуты относительно отрицания отношений.

Обозначим тип сложности отношений через T_i , $i=0, 1, \dots, [N/2]$. Легко видеть, что чем больше индекс i , тем больше отношений принадлежит типу T_i и тем выше их сложность. Таким образом, если вычислять сложность отношений с помощью (3), то величина сложности отношения $R_{N_1,N}$ оказывается пропорциональной числу отношений, принадлежащих типу T_{N_1} , если $N_1 \leq [N/2]$, и типу T_{N-N_1} , если $N_1 > [N/2]$.

Рассмотрим более подробно, что происходит, когда условие УЗ не выполняется, т. е. когда величины N_1 и N составляют лишь часть возможного знания об отношении $R_{N_1, N}$. В этом случае отношение $R_{N_1, N}$ нельзя рассматривать как стохастическое, ибо стохастическое отношение вполне определяется числами N_1 и N . Если вычислять сложность такого отношения посредством (3), то полученная величина будет характеризовать только сложность типа, к которому принадлежит отношение, но не индивидуальную сложность этого отношения. Можно сказать, что стохастическое отношение имеет только сложность типа, тогда как нестохастическое отношение, если его сложность вычисляется посредством (3), имеет дополнительную сложность ΔS , связанную с индивидуальными особенностями расположения N_1 единиц по N клеткам представляющей матрицы.

По-видимому, может быть $\Delta S > 0$ или $\Delta S < 0$, в зависимости от характера расположения нулей и единиц в представляющей матрице. Если $\Delta S < 0$, то говорят об упрощающем влиянии индивидуальных особенностей отношения, а если $\Delta S > 0$, — то об усложняющем влиянии такого расположения.

Естественно, однако, заменить $S_1 + \Delta S$ прямой оценкой сложности индивидуального отношения, если сложность типа не является для него существенной. Пусть \bar{R} — индивидуальное отношение. Тогда положим

$$S_2(\bar{R}) = S_2^1(\bar{R}) + S_2^2(\bar{R}), \quad (9)$$

где $S_2^1(\bar{R})$ есть число битов в самом коротком из описаний индивидуальной закономерности расположения единиц в представляющей матрице, а $S_2^2(\bar{R})$ есть число битов, измеряющее устранение неопределенности, когда начальные условия для указанной закономерности приняли определенное значение. Так, если начальные условия могут принимать с равной вероятностью одно из N возможных значений, то $S_2^2(\bar{R}) = \log_2 N$.

Укажем также на связь между стохастическими и индивидуально заданными отношениями. На каждое индивидуально заданное отношение можно смотреть как на розыгрыш стохастического отношения с соответствующим числом единиц (нулей). Например, стохастическое отношение $R_{1,4}$ может породить четыре индивидуально заданных отношения

$$\begin{pmatrix} 10 \\ 00 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 01 \\ 00 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 00 \\ 10 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 00 \\ 01 \end{pmatrix}.$$

Можно ставить вопрос о вероятности возникновения того или иного индивидуально заданного отношения, при условии, что соответствующее стохастическое отношение имеет место. А если предположить, что все возможные индивидуально заданные отношения с N_1 единицами, реализующие стохастическое отношение $R_{N_1, N}$,

равновероятны, то легко видеть, что более простое (в силу УЗ, например, в силу инвариантности или симметрии) отношение более вероятно, ибо ему соответствует большее число «благоприятных возможностей».

Следует подчеркнуть, однако, что речь идет здесь только об оценке априорной вероятности отношений, так как мы применяли принцип равной вероятности. Но когда априорные вероятности уже известны, можно, используя теорему Бейеса, вычислять оценки апостериорных вероятностей (бейесовская статистика отношений). В этом случае правило «более простое отношение является более вероятным» может оказаться ложным, все зависит от конкретной ситуации, в которой возникают эти отношения. Тем не менее, поскольку в бейесовской статистике основная трудность связана с определением априорных вероятностей, тезис «более простое отношение более вероятно» является удобным орудием изучения отношений как систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагнер В. В. Теория отношений и алгебра частичных отображений. — «Теория полугрупп и ее приложения». Саратов, 1965.
2. Костюк В. Н. Оценка простоты систем с точки зрения принципа разнообразия. «Материалы симпозиума по логике науки». Киев, 1966.
3. Месарович М. Основания общей теории систем. — «Общая теория систем». М., 1966.
4. Риге Ж. Бинарные отношения, замыкания, соответствия Галуа. — «Кибернетический сборник», № 7. М., 1963.
5. Уемов А. И. Вещи, свойства и отношения. М., 1963.
6. Салпайр Р. The Logical Foundations of Probability. Chicago, 1951.
7. Гудман Н. The Test of Simplicity. — «Science», v. 128, N 3331, 1958.
8. Ланге О. Całocść i rozwój w świetle cybernetyki. Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1962.

СИСТЕМЫ, СРАВНИМЫЕ С ИССЛЕДОВАТЕЛЕМ ПО СОВЕРШЕНСТВУ

В. А. ЛЕФЕВР

Все большее число исследователей начинают полагать, что пути достижения функционального подобия деятельности некоторого технического устройства живому организму не приближают нас к пониманию того, что такое «психика», «внутренний мир», «рефлексия». Модели и понятия, выработанные в гуманитарных науках, начинают приобретать все большую привлекательность в глазах естествоиспытателей и кибернетиков. Бум кибернетики закончился. Началась эпоха критики.

Это объясняется, по-видимому, тем, что кибернетика не выработала специальных средств изучения «интеллектуальных процессов». Она всегда пыталась свести их к некоторым элементарным физическим или техническим закономерностям.

Рассмотрим этот факт на примере известной Крысы, которую У. Росс Эшби поселил в канализационной трубе и которую Некто желает отравить [1]. Как известно, Крысу не удастся отравить сразу. Она подозрительно относится к приманке и берет ее маленькими порциями. Лишь убедившись в безвредности этой пищи, она через несколько дней отхватит значительный кусок. Эшби рассматривает два типа крыс. Крысы первого типа имеют короткую память, крысы второго типа — длинную. Оказывается, что крысы с длинной памятью более уязвимы, чем крысы с короткой памятью. Некоторый Отравитель в течение длительного времени обучает Крысу, подкладывая ей безвредную «предприманку». После того как Крыса осмелеет, он подложит ей отраву и выйдет победителем.

Крысу с короткой памятью ему обучить не удастся. Она всегда будет брать подложенную приманку маленькими порциями и в результате останется живой. Но так ли безнадежно положение Крысы с длинной памятью? Тут мы сталкиваемся с ситуацией, где кончают свою работу понятия кибернетики. Чтобы выжить, Крыса должна *осознать* ситуацию. Что же скрывается за этим ясным и одновременно неопределенным термином «осознать»?

Это понятие употребляется для фиксации двух различных моментов. С одной стороны, «осознать» — это расширить свой «мы-

сленный горизонт», включить в него ранее скрытые пружины некоторого процесса. С другой стороны, «осознать» — это включить в мысленную модель самого себя вместе со своими исследовательскими средствами и внутренними картинками, которые порождены этими средствами. Мы несколько расширим вторую сторону. *Осознанием* мы будем называть также включение в мысленную модель некоторым персонажем других персонажей с их исследовательскими средствами и внутренними картинками. При этом сами эти внутренние картинки могут содержать в качестве элементов внутренние картинки других персонажей и т. д. Для фиксации развертывания таких структур автором был предложен специальный язык [2] [3].

Будем обозначать символами X и Y персонажей, которые будут заниматься исследованием друг друга. Пусть, например, X — это уже известная нам Крыса, а Y — Отравитель. Условимся канализационную трубу, в которой живет Крыса, а также весь «материальный мир», который нам впоследствии понадобится, обозначать символом T . Тело Крысы и тело Отравителя мы включим в T . Условимся обозначать «мысленные модели», которыми располагают Крыса и Отравитель, соответственно через Tx и Ty . Крысу и Отравителя мы будем обозначать символическими суммами

$$X = T + Tx; \quad Y = T + Ty.$$

Автору приходилось сталкиваться с недоумением по поводу такого изображения объектов. Обычный вопрос: «Почему вы суммируете такие разнокачественные вещи, как некую реальность и картину этой реальности, которой располагает персонаж?» Ответ на этот вопрос таков. «Это не столь разнокачественные вещи, как кажется с первого взгляда». Действительность T и картина Tx — это некоторые картины, лежащие перед гипотетическим внешним исследователем. Таким исследователем, в частности, являюсь я, когда фиксирую отдельно T и Tx . Осознав этот факт, я мог бы написать $Tя + Tя$, т. е. « T с моей точки зрения» и « Tx с моей точки зрения». Таким образом, «действительность» T и «картина действительности» Tx являются некоторыми описаниями с точки зрения внешнего исследователя, и в этом отношении однородны. Для простоты изложения условимся не употреблять символ «я».

Введем три правила оперирования с многочленами.

Первое правило: члены суммы можно располагать в любом порядке.

Второе правило: члены суммы можно репродуцировать, т. е.

$$T_{\xi} = T_{\xi} + T_{\xi},$$

где ξ — произвольная конечная последовательность индексов. Это естественное правило, поскольку я не приобретаю дополнительной информации от репродуцирования уже известного мне «текста».

Третье правило: правый крайний индекс, общий для группы слагаемых, можно выносить за скобки; индекс, стоящий за скобкой, можно вносить в скобку. Например

$$T + Ty + Txy = T + (T + Tx)y.$$

Это правило позволяет выделять «внутренние миры». Например, выражение $T + Tx$ в предыдущем соотношении — это некоторая действительность не с моей точки зрения, а с позиции Y

Теперь вернемся к нашим Крысе и Отравителю. Как мы можем изобразить ту ситуацию, которую рассмотрел Эшби? Крыса отражает только материальный фон, т. е. фон, в котором она живет, а Отравитель — еще дополнительно и ту картину материального фона, которая лежит перед Крысой. Обозначив всю ситуацию символом Ω_1 , получим

$$\Omega_1 = T + Tx + (T + Tx)y.$$

Деятельность Отравителя заключается в том, что он «подсовывает» Крысе определенную картину мира, а затем использует факт, что у Крысы именно та картина мира, которую он создал. Символически процесс передачи картины мира может быть изображен как превращение

$$Txy \rightarrow Tx.$$

Теперь перейдем к случаю, когда Крыса «осознала», что происходит в действительности; тем самым вся картина изменилась, возникла ситуация Ω_2

$$\Omega_2 = T + \Omega_1 x + (T + Tx)y.$$

Перед наивным Отравителем все еще лежит картина $T + Tx$, а перед Крысой все предыдущее состояние

$$\Omega_1 = T + Tx + (T + Tx)y.$$

Очевидно, что действия Отравителя обречены на неудачу, ибо изменение многочлена, описывающего ситуацию, фиксирует факт «Крыса догадалась». Мы можем больше не пользоваться неопределенными понятиями «догадалась», «осознала». Мы можем ввести их как особые операции над многочленом. Аналогом осознания будет операция, очень похожая на формальную операцию нахождения первообразной многочленов в математическом анализе.

Выше мы ввели правила преобразования многочленов. Произвольный многочлен, фиксирующий взаимоотношения двух партнеров, эти правила позволяют привести к виду

$$\Omega = T + \Omega'x + \Omega''y,$$

где Ω' и Ω'' — некоторые многочлены, изображающие внутренние миры.

Условимся операцию осознания изображать символом \int и положим

$$\int_x \Omega = \Omega x + C, \quad C = T + \Omega''y,$$

$$\int_y \Omega = \Omega y + C, \quad C = T + \Omega'x.$$

Эти соотношения написаны в предположении, что осознание производил лишь один персонаж. В случае, когда X и Y произвели осознание одновременно, будем пользоваться символом $\int_{x,y}$ и полагать, что

$$\int_{x,y} \Omega = T + \Omega x + \Omega y.$$

Предложенный формализм дает возможность фиксировать процессы осознания. Динамику развития ситуации можно изобразить, указав последовательность операторов интегрирования.

Введенная символика позволяет задать типологию отношений между объектом и исследователем, точнее между объектами-исследователями, поскольку наиболее интересными являются случаи, когда объекты сами являются исследователями.

Простейший тип — это $T + Tx$. Перед исследователем лежит некоторая «физическая» реальность: она с его точки зрения не является одухотворенной. Исследователь строит «физику».

Более сложным случаем является $Y + Yx$. Здесь Y может быть, например, таким: $T + Ty$. В этом случае X исследует не только «физическую» реальность, но и картину этой реальности, которая есть у Y . В такой ситуации, например, находится врач психиатр, беседующий с пациентом. Он пытается выявить патологию, заимствуя картину мира, которой располагает пациент. Иногда ему приходится иметь дело с более сложными структурами, например, такими:

$$Y = T + Ty + Txy + Txyx.$$

Член Txy фиксирует картину, которая лежит перед психиатром с точки зрения пациента, а член $Txyx$ — ту картину, которая лежит перед пациентом с точки зрения психиатра, как это представляется пациенту. Психиатру приходится ориентироваться в очень сложном хитросплетении рефлексивных структур, которые для него ничуть не менее реальны, чем структуры ткани мозга для нейрофизиолога. Объект, который лежит перед психиатром, более сложен, чем, например, лежащий перед физиком. Свойства объекта, которые изучаются физиком, зависят в крайнем случае от того прибора, который он вводит в «контакт» с объектом. Рефлексирующий объект, который исследуется психиатром, проникает во внутренний мир исследователя. Это тот случай, когда сама «теория объекта» воздействует на него [4]. Например, пациент изучил книги

по психиатрии и его недуг приобрел специфическую окраску. Исследователь в своей деятельности с объектом должен исходить из того, что объект владеет теорией. (Кто знает, может быть и теоретическая физика воздействует на свои объекты!?)

Теперь рассмотрим другой тип отношений, который можно изобразить так:

$$Y + (X + Xy)x.$$

Внутренняя модель X содержит модель себя самого и модель исследуемого объекта. Но исследуемый объект таков, что он имитирует любую мысль, которая приходит в голову X (все это происходит с позиции X).

С точки зрения X объект превосходит его по совершенству. Такое строение картины мира характерно для религиозного мышления. Естественно, что X не может даже поставить задачу изучения Y , поскольку он сам вместе с этой задачей имитируется системой, превосходящей его по совершенству. Но X может воздействовать на Y , поскольку рефлексивная структура Y (строение многочлена, изображающего Y) зависит от того, каков X . Осознав это и переходя в различные состояния, X меняет вид Y и тем самым воздействует на него.

Подобные структуры проявляются не только в религиозном мышлении, но и в некоторых человеческих конфликтах. Такое строение «внутреннего мира» вынуждает игрока использовать принцип максимина, т. е. принимать такое решение, что, даже зная его и приняв наилучшее решение, противник нанесет принимающему решение минимальный ущерб. Но во многих случаях такая «оптимальная мысль» отсутствует. В такой ситуации принимающий решение должен «нейтрализовать дедукцию» противника. Он должен сам не знать, какое именно решение он примет. Поэтому, проимитировав его мысли, противник не сможет определить выбранное решение. Принимающий решение должен бросить жребий (считается, что единичное выпадение игральной кости нельзя проимитировать). Но противник (тот самый, который имитирует любую мысль), конечно, сразу же об этом догадается и будет принимать решение, бросая игральную кость. Дж. фон Нейманом была развита теория игр, которая как раз и отвечает на вопрос, как оптимально бросать жребий в простейших ситуациях такого типа.

Итак, мы рассмотрели средства, которые позволяют проводить типологический анализ взаимоотношений между объектами-исследователями. Применяя их, мы как бы раскладываем в ряд исследуемый объект

$$Y = T + Ty + Txy +$$

Однако возможны более сложные случаи. Исследуемый объект может иметь не одну, а несколько картин T , например Ty^1 и Ty^2 .

Фактически мы имеем дело с несколькими различными позициями, с которых Y отражает T . Эти позиции могут быть не связаны, а в некоторых случаях само их различие осознается и ставится задача связи, осуществляемой посредством некоторой третьей позиции, а иногда посредством одной из прежних, т. е. возникает конфигурактор [2]. Пусть, например, Ty^1 — это схематизация объекта средствами кибернетики, а Ty^2 — средствами физики. В принципе возможны три случая:

$$(Ty^1 + Ty^2) y^1,$$

$$(Ty^1 + Ty^2) y^2,$$

$$(Ty^1 + Ty^2) y^3.$$

Первый — осознание с точки зрения кибернетики; эта запись фактически означает, что Ty^2 редуцируется к Ty^1 .

Второй случай — осознание с позиции физики, т. е. картина, порожденная трафаретами кибернетики, сводится к физическим моделям. Такие процессы осознания гораздо более сложны, чем процессы осознания в рефлексивных играх, где присутствуют реальные персонажи, у которых можно нечто заимствовать. Это — случай «позиционного осознания».

Для научного творчества характерен третий случай: процесс «построения позиции». Если пользоваться аналогиями с рефлексивными играми, то это процесс построения нового игрока, который сможет осознать картины, которые лежат перед уже построенными игроками.

Можно предположить, что научное знание может быть схематизировано в виде рефлексивного многочлена, персонажам которого будут соответствовать различные исследовательские позиции. Фактически само подключение к телу науки в этом смысле есть начало исследования рефлексивного объекта. Обучение выступит как заимствование позиций, а творческая деятельность как агрессия по отношению ко всей структуре: ликвидация одних персонажей, введение новых, построение противостоящего и конкурирующего семейства исследовательских позиций.

Заметим, что противопоставление «научного» и «ненаучного» порождается способом представления объекта. Современному научному мышлению чужда идея объекта, сравнимого или, более того, превосходящего по совершенству исследователя.

Сформировавшееся на изучении простейших механических явлений научное мышление склонно сначала низвести объект до уровня мертвой вещи, а затем провозгласить тезис, что из мертвого могут быть выведены атрибуты живого и разумного.

Приступив к исследованию объектов, которые мало отличны от исследователя, мы должны изменить исследовательскую «идеологию» и пытаться построить исследовательские средства, специально предназначенные для исследования таких объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эшби У. Росс. Принципы самоорганизации. — «Принципы самоорганизации». М., 1966.
2. Лефевр В. А. Конфликтующие структуры. М., 1967.
3. Лефевр В. А. Исходные идеи логики рефлексивных игр. — «Проблемы исследования систем и структур». Материалы к конференции, М., 1965.
4. Лефевр В. А. Элементы логики рефлексивных игр. — «Проблемы инженерной психологии». Л., 1966.

СТРУКТУРА И СИММЕТРИЯ

Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Идеалом научного объяснения явлений природы в классическом естествознании было причинное объяснение. Явление считалось понятным и объясненным, если найдена его причина. В этом заключалась цель науки. Именно ради этой высокой цели можно было предпочесть науку любому другому роду деятельности. Уже Демокрит выразил образно эту мысль, утверждая, что он предпочел бы найти одно причинное объяснение, нежели приобрести себе персидский престол. В античную эпоху, однако, был найден и другой тип объяснения, который можно назвать объяснением через структуру или проще структурным объяснением. В развитой форме структурное объяснение явлений природы типично для современного естествознания. Явление считается понятным, если найдена его структура.

Существовало, да и сейчас еще существует убеждение, что любое объяснение явлений природы носит так или иначе причинный характер. Методологический анализ современного естествознания позволяет, однако, сделать другой вывод — любое объяснение явлений природы носит структурный характер. Этим последним утверждением не отрицается роль причинного объяснения в естествознании, но подчеркивается подчиненная его роль по отношению к структурному объяснению.

Мы попытаемся далее развить это утверждение. Предварительно заметим, что процедура причинного объяснения включает в себя поиски необходимого характера связи между явлениями. На эмпирическом уровне познания эта необходимость не может быть выявлена. В этом смысле Юм прав в своем утверждении, что «после этого» не значит «вследствие этого». Оставаясь на позициях эмпиризма, действительно нельзя прийти к другой, более глубокой оценке причинных отношений. Проблема, следовательно, состоит в преодолении эмпиризма. Поскольку повторяющаяся связь явлений включена в теоретическую систему, к понятию чередования явлений синтетически присоединяется понятие необходимости этой связи в данной системе условий. Именно в этом пункте и откры-

вается возможность структурного подхода к объяснению явлений природы. Необходимость связи явлений, обеспечивающая собственно причинный характер связи, дается теоретической системой науки, которая и позволяет выявить необходимость как результат внешней и внутренней структуры явлений. Сама причинная связь структурна и в силу этого может быть понята только через структуру. В этом смысле и можно понимать утверждение, что любое, в том числе и причинное, объяснение носит структурный характер.

Но что же такое структура? Понятие структуры — одно из многозначных понятий. Оно, как и любое другое понятие достаточной степени общности, содержит в себе различные смысловые уровни, соответствующие до некоторой степени этапам его исторического развития в человеческом познании. Проблема состоит в том, чтобы за этой многозначностью усмотреть единое содержание, выявить смысл, объединяющий самые различные и порою противоположные значения этого слова.

Невозможно даже перечислить все различные значения понятия структуры, в которых оно выступает у разных авторов. Отметим лишь те из этих значений, которые, как нам кажется, характерны для научного объяснения и которые, несмотря на их существенные различия, позволяют выявить в них общее содержание.

Часто структура понимается как рисунок, как некоторая внешняя картина явления или объекта исследования. Ясно, что картина объекта позволяет лишь так или иначе описать его, но сама по себе не дает еще его объяснения. И тем не менее в картине явления или объекта исследования, составленной по определенному принципу, с самого начала может усматриваться некоторая целостность. Структура — это устойчивая картина взаимных отношений элементов целостного объекта.

Исходными понятиями в анализе структуры объекта могут быть различные понятия. В частности, в истории философии таким первоначальным понятием было понятие формы, противопоставленной содержанию. Понятие формы исторически предшествует развитому понятию структуры. И тем не менее уже в этом понятии абстрактным образом выражается идея структурного исследования. С современной точки зрения можно сказать, что форма — это структура содержания. Однако такое утверждение может получить определенный смысл только тогда, когда мы знаем, что такое структура, т. е. если структура будет определена независимо от формы.

Наряду с понятием формы анализ понятия структуры объекта может начинаться, например, с понятия системы, которое в процессе познания этой структуры выступает как первоначальное и достаточно общее понятие. Если известна система, то структура предстает как некоторый аспект системы, а именно как единство ее инвариантных свойств. В процессе исследования объект первоначально представляется как некоторая система, а затем выявляется закономерная картина устойчивых отношений элементов

в заданной системе. Возможность представления любого объекта в качестве системы опирается, с одной стороны, на факт неисчерпаемого многообразия мира и любого его элемента и, с другой стороны, на свойственную человеческому познанию способность отвлекаться от всей полноты этого многообразия, ограничивать его рамками определенных практических и теоретических задач. Любой объект всегда может быть представлен в качестве системы. Точка в евклидовом пространстве — это система координат x, y, z . Атом — это определенная система элементарных частиц. Живой организм — это система органов, тканей и т. п.

Для того чтобы на первом этапе познания представить объект как систему, необходимо так или иначе расчленив объект, выявить, например, его пространственно отграниченные части или найти другие формы расчленения объекта, а затем констатировать существование отношений этих частей в целостной картине объекта. Представляя объект как систему, мы даем предварительную картину составных частей объекта в их взаимных отношениях. Система часто определяется как некоторая совокупность отношений частей или элементов, и такое определение способствует более определенному формулированию задачи исследования с тем, чтобы в дальнейшем перейти к структурному анализу системы. При этом в зависимости от условий задачи и опираясь на предварительные данные эмпирического знания, можно представить один и тот же объект в качестве самых различных систем. Число способов системного представления объекта не имеет ограничений, как не имеет ограничений само познание. Однако, изображая объект как систему, мы лишь получаем возможность подойти к структуре объекта, но еще не знаем действительной картины его структурных отношений. Дальнейший, более глубокий шаг в познании заключается в поисках закономерностей системных отношений целостного объекта.

Первоначально объект предстает как некоторая система свойств, которые характеризуют внешние отношения объекта в его целостных проявлениях. Уже здесь имеет место системное рассмотрение, хотя еще неизвестна структура объекта, предполагающая прежде всего внутренние отношения элементов. Переход от системы целостных свойств к структуре может быть осуществлен при условии, если найдены элементы и их устойчивые отношения, которые связаны с природой этих свойств, что и позволяет объяснить эти свойства. Этот переход от системы к структуре может быть длительным процессом, в котором элементы системного и структурного анализов переплетены и неотделимы друг от друга. Они могут быть отличимы только на уровне метатеоретической абстракции. Оставаясь на уровне системного анализа, можно осуществлять поиски элементов системы и их взаимных отношений. Уже здесь открывается возможность поисков внутренних отношений частей объекта в соответствии с теми или иными заданными

условиями исследования. Задание этих условий определяется исторически сложившейся системой знания, вытекает из этой системы. Однако, поскольку речь идет о постановке проблемы, это задание не может определяться однозначным образом. Отсюда возникает множественность системного подхода, возможность рассмотрения объекта в качестве самого различного набора систем.

Важно подчеркнуть, что эта множественность не только открывает путь к всестороннему анализу, но и заключает в себе возможность произвольной интерпретации объекта познания. В силу этого в научном познании часто возникает такая ситуация, когда объект как некоторая объективная целостность исчезает из рассмотрения и остается лишь предмет исследования, определяемый целиком условиями данной задачи. И хотя сама постановка задачи детерминируется закономерностями познавательной деятельности, тем не менее, поскольку такого рода закономерности, составляя предмет особой области философского знания, не исследуются в рамках данной специальной области науки, объект в его целостности и объективной данности остается вне сферы специальной области научного знания, если исследователь не переходит от системного рассмотрения к познанию структуры. Ибо структурный подход позволяет сформулировать принципы отбора необходимых отношений среди многообразия системных рассмотрений.

Таким образом, системный подход открывает возможность свободных гипотетических построений. Структурные исследования заключают научное познание в рамки строгих закономерностей. В классическом естествознании этим двум различным типам научного исследования соответствовали метод гипотез и метод принципов. Последний получил разработку и систематическое развитие в аксиоматическом методе. Разумеется, не следует превозносить системный подход за счет структурного, как не следует и преувеличивать значение структурных исследований, пренебрегая системным рассмотрением. Структура немислима вне системы, равно как и система в своей основе всегда структурна.

Собственно структурный анализ системы начинается с выявления определенного состава системы, с детального исследования частей или, иначе, элементов, с открытия их неделимости в определенном отношении. Это отношение при дальнейшем анализе рассматриваемой системы предстает как структурное отношение. Понятие элемента, строго говоря, не совпадает с понятием части, подобно тому, как понятие структуры не совпадает с понятием системы. Структурный анализ идет от понятия части к понятию элемента. Выявляя первоначально части системы, исследуя ее состав, мы затем уточняем это знание состава и переходим к поискам элементов системы. Тем самым от системного рассмотрения мы начинаем переходить к структурному. Понятие части системы можно рассматривать как первоначальную ступень в процессе формиро-

вания понятия элемента структуры. Может оказаться, что часть и элемент — это один и тот же объект и их различие определяется лишь уровнем исследования. Однако, вообще говоря, в реальном научном познании открытие элементов исследуемой системы уточняет понятие части данной системы таким образом, что эти понятия оказываются совершенно различными по содержанию.

Критерием элементности частей выступает их сохранение, или, иначе, инвариантность, которая принимает различные формы в зависимости от особенностей того или иного класса структур. В частности, при исследовании структуры материи определяющей особенностью структурных элементов является их неделимость и целостность. Открытие такого рода элементов в исследуемом объекте может стать выдающимся достижением в развитии науки. Такого рода открытиями были, например, идеи античной атомистики, которая наряду с концепцией идеальных форм Платона и Аристотеля явилась одной из первых в истории познания структурных картин движущейся материи. Современное естествознание вскрыло относительность неделимости структурных элементов материи. Однако эта относительность выявилась лишь применительно к пространственно-временной структурной картине мира. Если же брать принципы античного атомизма в их более общем значении и смысле, то следует сказать, что современная наука не только не отменила, но расширила и углубила эти принципы. Понятия части и целого в системном рассмотрении выступают как относительные понятия. Античная атомистика, будучи одной из первых структурных картин материи, содержала еще в себе эти представления, характерные для системного уровня исследования. Утверждая неделимость структурных элементов материи, она еще не искала фиксированных количественных критериев этой неделимости. Абсолютность ее последних кирпичиков мироздания оборачивалась, строго говоря, относительностью и неопределенностью их пространственно-временных свойств.

На структурном уровне исследования, поскольку мы от понятия части системы переходим к понятию элемента структуры, критерий элементности частей приобретает независимый и в известном отношении абсолютный смысл. Современный атомизм существенным образом опирается на идею неделимых, строго фиксированных свойств фундаментальных частиц материи. При исследовании структуры атомов в современной квантовой физике выяснилось, что невозможно объяснить большое с точки зрения малого, если понятия большого и малого сопоставляются друг с другом как чисто относительные понятия. Такая чистая относительность понятий большого целого и малых частей не позволяет выявить специфику внутриатомной структуры. По-видимому, вообще такого рода относительность большого и малого дает основание для однородной, малодифференцируемой структурной картины мира. Поэтому для того, чтобы открыть новые специфические структур-

ные закономерности фундамента материи, необходимость которых диктовалась опытыми данными физики, нужно было существенным образом изменить классические идеи. Изменение классических идей, если формулировать его в самом общем виде на языке структурных исследований, состояло в стремлении устранить чистую относительность большого и малого и придать абсолютный смысл понятию размера. Такого рода ограничение относительности классических понятий позволило найти строгие основания для специфической структурной картины исследуемого объекта. Вместе с тем это ограничение относительности не сузило, как могло бы показаться, а необычайно расширило возможности структурного исследования. Если при классическом подходе часть всегда меньше целого, то современное структурное исследование может отвлекаться от этого требования и формулировать новый принцип, а именно принцип элементности частей.

Можно, конечно, сказать, что, выявляя части объекта, мы в результате такого расчленения получаем знание состава (простое перечисление элементов), а не структуры. Однако познание структуры невозможно, если не указан состав. Можно знать состав и не знать отношений элементов в целостной картине. Однако нельзя знать отношений, если не указаны так или иначе элементы, вступающие в отношение. Если элементы отмечены, то открывается возможность отвлечься от них и исследовать отношения как таковые. В этом случае структура рассматривается как нечто большее, чем состав, и нечто независимое от него.

Структура предложений (воспользуемся примером Рассела) «Платон любил Сократа» и «Брут убил Цезаря» одна и та же, поскольку в том и другом случае имеет место одно и то же бинарное отношение. Таким образом, структура в собственном смысле слова представляет собой отношение как таковое. Ясно, что отношения здесь понимаются в самом широком смысле слова. В этом случае образ структуры уже теряет свою наглядность, перестает быть просто рисунком или картиной объекта. Но если структура лишь отношение в самом широком смысле этого слова, то не производим ли мы здесь просто замену слова «отношение» словом «структура»? Нам представляется, что структура — это особый тип отношения. Для выявления структурного отношения необходимо обнаружить тождество конкретных отношений в различных объектах. Пусть, например, объектом исследования является предложение. Мы не знаем и не можем знать структуру данного предложения, если не имеем возможности сопоставить его с некоторым другим предложением в некотором отношении. То же самое можно сказать и о любом объекте исследования. Структура выявляется лишь как что-то общее в различных объектах. Это последнее утверждение может быть отнесено и к уникальным объектам (скажем, Вселенной), если мы намерены исследовать структуру такого объекта. Выявить структуру уникального объекта возможно только при условии,

если мы построили искусственно другой объект — модель. Исследуя тождество отношений модели и объекта, можно выяснить структуру уникального объекта. Следовательно, структурные отношения выявляются посредством отождествления различных конкретных отношений в различных объектах. Говорить по структуре данного конкретного объекта можно лишь после того, как путем моделирования или посредством отнесения к классу выявлена тождественность отношения, без которой нет структуры. Не отношения сами по себе, но именно тождественность отношений образует структуру.

Вместе с тем структурные отношения всегда есть отношения элементов, если речь идет не о структуре, как таковой, но о структуре объекта исследования. Вообще говоря, одни и те же элементы могут вступать в различные отношения. Одним и тем же отношениям, с другой стороны, можно сопоставить различные элементы. Однако такого рода неоднозначность элементов и отношений допустима лишь в некоторых пределах, определяемых спецификой класса объектов, структуру которых мы исследуем. Ясно, что для слов в языке характерны негеометрические отношения, а электромагнитным отношениям заряженных частиц нелепо подставлять в качестве элементов, например, слова в языке. Существуют, следовательно, различные типы структурных отношений, определяемые так или иначе классом соответствующих элементов. И хотя элементы могут вступать в различные отношения, тем не менее существуют определяющие структурные отношения, характерные для данного класса элементов. Подобно тому как структурное отношение выявляется лишь при отождествлении отношений, так элементность частей объекта может быть выявлена при условии их взаимозаменяемости в данном структурном отношении. Иначе говоря, элементы также подчиняются принципу тождества, и в этом смысле они существенным образом характеризуют структуру исследуемого объекта.

Конечно, элементность частей относительна. Элементы делимы в себе, но они неделимы по отношению к существенным отношениям системы, элементом которой они являются. Но если фиксированы структурные отношения объекта (а объект — всегда система), то в таком случае элементы необходимо предстают как неделимые части системы. Именно в этом смысле античные атомисты открыли непреходящую истину, сформулировав идею неделимости фундаментальных частиц материи. Любая система, как бы ни была сложна ее организация, содержит в себе элементы, которые относительно независимы от динамики функционирования системы. Более того, эти элементы существенно определяют характер структурных отношений системы. Возможно, что весьма устойчивые молекулы ДНК и РНК в живых организмах могут служить примером подобного рода элементов.

Структурные отношения не зависят от материала элементов, от их специфических особенностей только в том смысле, что для данного типа структурных отношений элементы выступают как тождественные, хотя в себе или в других отношениях они и различны. Когда мы говорим о бинарных отношениях в языке, то в приведенном выше примере Платон тождествен Бруту, а Сократ — Цезарю, хотя мы хорошо знаем, что в других отношениях эти имена обозначают совершенно различных людей. Тем не менее именно тождественность элементов класса структурных объектов существенна для структурных отношений. Более того, тождественность отношений, характерная для структуры, определяется тождественностью элементов. Если нет этой тождественности, то нет и структуры.

Р. Карнап говорит, что «быть реальным в научном смысле этого слова это значит быть элементом структуры». Вопрос о реальности структуры, если структуру понимать как структурные отношения класса систем, не имеет смысла. Принадлежность элементов к абстракции структурных отношений делает их тем самым столь же нереальными, как нереальны и абстрактны структурные отношения. И тем не менее можно поставить вопрос о реальности структуры таким образом, что этот вопрос не только приобретает определенный смысл, но открывается возможность найти критерий реальности. Эта возможность содержится в том понятии структуры, которое фактически работает в научных исследованиях.

Идеал научного познания не в том лишь, чтобы знать, откуда и по какой причине произошло данное явление или данный объект. Идеал науки — всестороннее знание разнообразного содержания объекта. Это знание осуществляется через выяснение различных ракурсов объекта, которые становятся предметом исследования. Разнообразие этих предметов, как предметов исследования, в конечном счете ведет к выявлению некоторого устойчивого единства, некоторой целостности ракурсов исследуемого объекта. Самое понятие этой целостности возникает в синтетическом знании, объединяющем эти ракурсы, и проявляется как инвариант целостности.

Проблема реальности может получить решение на пути синтетического рассмотрения элементности объекта, его структурных отношений и целостных свойств. Если знание структурно в том смысле, что оно характеризуется лишь структурными отношениями, то мы получаем весьма абстрактную характеристику знания. В таком смысле проблема соотношения знания к объекту знания не может быть решена просто потому, что структурные отношения, взятые сами по себе, приложимы к любым типам структур, и в силу этого не усматривается различие между структурой научного языка и структурой реальности. Сама проблема реальности или проблема сопоставления знания и объекта просто лишается смысла. Эта проблема, однако, приобретает смысл, если мы обратим внима-

ние на целостность объекта, структурные отношения которого являются предметом исследования.

Коротко говоря, структура как понятие, работающее в научном познании, может рассматриваться, как мы уже отмечали, в качестве инвариантного аспекта системы. Выявляя структуру объекта, мы прежде всего рассматриваем объект как систему, т. е. усматриваем в нем некоторый комплекс частей. Затем выявляем элементность этих частей, и уже эта элементность частей дает первую структурную характеристику системы. Структурные отношения важны не сами по себе, но только в той связи, в какой они характеризуют устойчивость системы, выявляя тем самым еще один ее структурный инвариант. Наконец, целостные свойства системы дают в некотором отношении итог исследования. Правда, рассматриваемые в предварительном плане целостные свойства предстают как внешняя картина объекта. Однако научный анализ дает возможность понять их как результат структуры объекта. Структура, таким образом, есть устойчивое единство элементов, их отношений и целостности системы.

Выявляя в понятии структуры различные его аспекты, мы осуществляем аналитический способ рассмотрения. Расчленение объекта познания на элементы, их отношения и выявление целостных свойств объекта представляет собой характерную черту научного исследования. Однако аналитическое рассмотрение необходимо дополняется синтетическим. Более того, наиболее ценные и действительно новые результаты достигаются на пути последующего синтеза. Аналитически расчлененное понятие структуры синтезируется на основе идеи сохранения или инвариантности в самом широком значении этого последнего термина. Эта идея служит тем объединяющим принципом, который позволяет синтезировать элементы, их отношения и целостные свойства системы в едином понятии структуры. Подобного рода синтетическое соединение различных аспектов в одном понятии на основе какого-либо единого принципа составляет характерную черту многих научных понятий. Макс Борн обратил внимание на то, что идея инвариантности может служить критерием физической реальности. Понятие структуры в его синтетическом смысле — как единство элементов, отношений и целостности — позволяет обобщить эту идею на все сферы познания, поскольку это понятие становится общенаучным.

В понятии структуры как инварианта системы на различных ее уровнях легко усматривается связь с понятием симметрии. Именно понятие симметрии и открывает возможность перехода от формы знания к содержанию знания или от структуры знания к структуре реальности. Как бы мы ни понимали симметрию — в широком или узком смысле — она, по выражению Г. Вейля, представляет собой идею, посредством которой человек на протяжении веков пытался постигнуть и воспроизвести закономерности природы и ее совершенство. Симметрия, понимаемая в самом широком

смысле, представляет собой единство инвариантного и вариантного в объектах природы и познания. Иногда симметрия определяется просто как инвариант соответствующих преобразований, если речь идет о математическом выражении идеи симметрии. Можно в связи с этим напомнить, что Г. Вейль рассматривает симметрию как группу геометрических или физических автоморфизмов. В силу всего этого симметрия может рассматриваться как метод структурных исследований.

В симметриях геометрического типа инвариантность выступает как тождественность частей фигуры по отношению к определенному виду геометрического движения. Уже в этом понятии симметрии явно усматривается структурный принцип. Изменение, связанное с такого рода тождественностью частей или, иначе, с их инвариантностью, выступает здесь как возможное, а не как действительное изменение. В симметриях динамического типа, получивших особенно развитое применение в современной физике, в качестве инвариантов могут выступать вещи, свойства или отношения. Соответствующие изменения представляют собой не только возможные, но и действительные физические процессы.

Существенно, что инвариантные характеристики объекта выявляются посредством исследования процессов изменения. Однако закономерный характер изменяющегося объекта может быть понят только на основе инвариантных параметров. Конечно, объекты знания, инвариантные в одном отношении, могут оказаться неинвариантными в другом отношении. Однако развивающееся теоретическое знание в случае выявления неинвариантности некоторой величины, ранее считавшейся инвариантной, ищет новый, более глубокий инвариант, новую, более глубокую симметрию. Такого рода ситуация может быть иллюстрирована ссылкой на историю становления теории относительности и квантовой теории. Обнаружение неинвариантности некоторых классических величин привело к открытию новых инвариантов — пространственно-временного интервала или соответственно квантовых симметрий. С этой же точки зрения могут быть рассмотрены факты нарушения P-инвариантности и в последнее время нарушения CP-инвариантности. Эти факты не означают, что физика встретила с абсолютным нарушением идеи симметрии как структурным принципом. Факты эти можно интерпретировать в том смысле, что физика встретила с новой, неизвестной еще ей реальностью. Граница, отделяющая эту новую реальность от известной, воспринимается как нарушение симметрии. В этом смысле изменчивость, понятая как нарушение инвариантности, может стать столь же реальной, как и инвариантность. Однако в изменчивости, взятой самой по себе вне инвариантности, нет возможности отыскать строгие критерии реальности.

Рассматривая структуру как инвариантный аспект системы, мы тем самым усматриваем в понятии структуры новое проявление принципов сохранения, особенно характерное для современного

научного знания. Посредством понятия структуры принципы сохранения становятся весьма общими принципами науки. Эти принципы в силу того, что понятие структуры является весьма общим понятием, находят свое применение не только в области физики, но и во всех других областях научного исследования. Понятие структуры в качестве инвариантного аспекта системы приобретает категориальный смысл. Можно сказать, что критерием научного подхода в исследовании выступают именно принципы сохранения, принимающие в той или иной области науки свои специфические формы. Там, где удается найти структуру объекта, выделив те или иные инварианты, открывается возможность развитой системы законов, обладающих общностью и необходимостью в данной области исследования.

В начале статьи мы отмечали, что классическое естествознание выработало принцип причинного объяснения явлений природы. Современное естествознание ищет новые способы объяснения своего предмета исследования. Можно сказать, что для современного естествознания типичен структурный подход. Современная наука, сохраняя методы причинного анализа, на первый план выдвигает принцип структурного объяснения, который в некотором отношении может быть понят как дальнейшее развитие принципа причинности. Принцип структурности приобретает весьма общее значение и находит свое применение в самых различных областях науки.

Поиски структурных инвариантов или, иначе, исследование структуры и симметрии природы становятся в современной науке не менее вдохновляющей задачей, чем поиски причины явлений. Современное естествознание, прорываясь сквозь причинную сетку явлений, идет дальше к структуре и симметрии природных процессов. Макс Планк говорил, что поиски устойчивого и абсолютно в качестве альтернативы относительного и изменчивого представляются самой прекрасной задачей исследователя. Известны слова А. Эйнштейна о той загадочной гармонии природы, которая находит свое отражение в стремлении ученого к внутреннему совершенству научной теории. Это внутреннее совершенство теоретических построений науки связано с такими фундаментальными понятиями всего естествознания, как структура и симметрия.

ВЕРОЯТНОСТЬ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМО-СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ю. В. САЧКОВ

Вероятность и сложные системы

В развитии системно-структурных исследований важнейшее значение имеет выработка общих представлений о материальных системах, о принципах их структурной организации и функционирования. Под простейшей материальной системой понимают некоторую совокупность объектов (элементов), существенным образом связанных общностью поведения и функционирования в определенных классах взаимодействий. В более сложных случаях в качестве элементов системы выступают относительно простые системы. Общность поведения элементов в составе системы обусловлена внутренними свойствами и взаимосвязями между составляющими элементами. Основные объекты исследования в современной науке представляют собой те или иные системы. В физике таковыми являются газы, жидкости, твердые тела, кристаллы, плазма, ядра атомов. Объекты исследования современной химии — прежде всего разнообразные полимеры — также представляют собой системы, образованные из громадного числа атомов. Системами являются основные объекты исследования биологии (биополимеры, клетка, организм, вид, биоценозы), экономики (предприятие, фирма, народное хозяйство страны в целом), социологии (коллективы, социальные слои и классы, общество в целом). Даже в тех случаях, когда исследуются, казалось бы, свойства независимых (отдельных, индивидуальных) материальных объектов, очень скоро обнаруживается, что такие объекты являются элементами некоторых систем и что познание их через призму этих систем дает наиболее полные сведения об их свойствах и закономерностях. Так, например, развитие физики элементарных частиц все определеннее вскрывает своеобразную взаимную обусловленность частиц, где само существование одних частиц зависит от наличия других частиц и взаимодействия между ними.

Утверждение о том, что основные объекты современной науки суть системы, есть простая констатация факта, притом довольно

бедного. Однако из констатации этого факта следует весьма важный вывод, а именно: современные методы исследования процессов природы в самих основах содержат или должны содержать фактор системности (включаящий в себя фактор массовости), который выступает в качестве независимого принципа исследования, действующего независимо от других теоретических предположений. Более сильных выводов из констатации указанного факта получить, пожалуй, нельзя. Для этого нужен дальнейший анализ фактического материала, и здесь прежде всего себя обращает внимание тот факт, что системность является на много численнее классов, среди которых для развития самих системных исследований в настоящее время ведущее значение имеет разработка общих представлений с так называемых сложных (управляющих) системах. Сложными управляющими системами называются системы с относительно независимым, автономным поведением (элементов) при высокой внутренней активности и избирательности, целенаправленности функционирования (поведения) систем в целом. Сложные системы выявляются открытием, находящимися в непрерывном взаимодействии с окружением (средой), и принципиально способны решать весьма разнообразные классы задач [4, стр. 14]. Основные идеи в разработке общего учения о сложных управляющих системах «поставляют» биология, кибернетика и математика.

Развитие общих представлений о сложных системах образует одно из важнейших направлений современного развития атомистической науки о наиболее общих принципах строения организационных систем. Иногда считают, что современное обобщение атомизма ограничивается лишь анализом данных физики микропроцессов, исследующей свойства и закономерности «кириичков мироздания». И действительно, развитие современной физики микропроцессов существенно образом преобразует принципы физическо-атомистики, которые ныне ухватывают корпускулярно-волновое взаимодействие, взаимопревращаемость элементарных частиц и взаимодействие с окружающей средой. Однако реальность самостоятельной пенноности обладал не только элементарные частицы физики, но и другие материальные тела, образованные из этих частей. «Одним из основных принципов жизни, — пишет, например, А. Сент-Джерузи, — является «организация»; мы понимаем, что при объединении двух вещей рождается нечто новое, качества которого не аддитивны и не могут быть выражены через качества составляющих его компонентов. Это относится ко всей гамме форм организации, к объединению электронов и ядер, образующих атом, к соединению атомов в молекулы, аминокислот в пептиды, пептидов в белки, белков и нуклеиновых кислот в нуклеопротеиды и т.д.» [10, стр. 22]. Если мы признаем, что объединение элементарных частей в любые из известных устойчивых материальных образований

ний есть нечто большее, чем простая сумма или комбинация этих частиц, то уже сам данный факт должен найти существенное отражение в современной атомистике.

Необходимой предпосылкой современного развития учения о сложных управляющих системах явился переход от исследования жестко детерминированных систем к вероятностным. Идеи и методы теории вероятностей являются своего рода знаменем теоретических представлений современной науки, по крайней мере первой половины нашего века. Ведущие теоретические разделы физики, химии, биологии, экономики, социологии невозможно ныне представить вне использования вероятностных идей. Более того, использование последних является одним из необходимых условий самого появления многих современных научных теорий. В этом отношении весьма характерно, что вероятностные идеи являются исходными, базисными в разработке кибернетики. О значении кибернетики в наши дни говорить не приходится — оно общеизвестно: кибернетика во многом характеризует лицо естествознания середины XX в. На основе вероятностных представлений определяются исходные понятия кибернетики и прежде всего — понятия информации, организации, сложности и др. Создавая книгу, посвященную доступному изложению кибернетики, Н. Винер писал: «Эта книга посвящена рассмотрению воздействия точки зрения Гиббса на современную жизнь как путем непосредственных изменений, вызванных ею в творческой науке, так и путем тех изменений, которые она косвенным образом вызвала в нашем отношении к жизни вообще» [1, стр 27]. С именем же Гиббса Н. Винер связывает радикальное становление и развитие вероятностной точки зрения на устройство мира.

Вместе с тем, несмотря на столь колоссальное воздействие идеи вероятности на развитие современной науки, она все еще должным образом не ассимилирована нашим мировоззрением. В этом отношении идеям и методам теории вероятностей не повезло, пожалуй, более всех в сравнении с другими современными теориями. Например, основные идеи теории относительности и квантовой механики уже достаточно определенно вошли в систему нашего мировоззрения. В настоящее время нельзя даже представить современное учение о пространстве и времени вне обобщения идей и методов теории относительности, а современный атомизм — вне основных выводов квантовой теории и физики элементарных частиц. Проводившийся же анализ вероятности на основе категорий необходимости и случайности, потенциально возможного и действительного хотя и дал существенные результаты, но его нельзя признать достаточным.

Одна из причин «недооценки» вероятностных идей состоит в том, что на вероятность еще довольно часто предпочитают смотреть с точки зрения тех общих представлений физики о структурной организации материи, которые по существу сложились до вхождения

вероятности в физику, и практически совсем избегают анализировать ее с точки зрения идей теоретической биологии и кибернетики о структурной организации материи. Вместе с тем коль скоро мы имеем более развитые знания или явления, то с их позиций наиболее глубоко раскрывается сущность менее развитых. В этой связи представляет большой интерес — рассмотреть взаимодействие идеи вероятности и представлений о сложных системах: такой анализ поможет яснее вскрыть природу вероятности и исходные положения учения о сложных системах.

Уровни в строении и детерминации систем

В настоящее время, конечно, еще нельзя говорить о достаточно сложившемся общем учении о сложных системах. Соответствующие представления и методы исследований находятся в процессе интенсивного становления. Вместе с тем в развитии этих исследований получены и такие позитивные результаты, которые имеют крайне существенное общетеоретическое значение. К одному из важнейших позитивных результатов развития представлений о сложных системах относятся становление и разработка идеи о наличии качественно различных и относительно автономных уровней структурной организации этих систем, уровней управления, регуляции и детерминации в сложных системах. Эта идея играет возрастающую роль во всем комплексе современных наук, начиная от физики элементарных частиц с ее попытками «схватить» внутреннюю структуру этих «кирпичиков мироздания» и кончая анализом принципов организации и функционирования развитого социалистического народного хозяйства (см. [6]).

Соответственно этому принципы структурной организации сложных систем отражают собой и наличие определенных жестких (однозначных, неизменных) глубинных связей между элементами, и существенную независимость (автономность элементов). Лишь на основе внутреннего «сочетания» жестких связей и автономности возможно высокоизбирательное и целенаправленное функционирование систем в целом.

Раскрытие диалектики взаимоотношения зависимости и независимости (автономности) лежит в основе развития познания сложных систем. Точнее говоря, зависимости (связи) не есть нечто такое, что может только просто быть или не быть. Основной факт состоит в том, что зависимости имеют внутренние градации по своей «интенсивности», обладают большей или меньшей «степенью наличности», а раскрытие диалектики взаимосвязей реального мира включает в себя и опирается на анализ взаимопроникновения предельных (противоположных, взаимоисключающих) случаев, на анализ их взаимоисключения и тождества.

Анализу принципов структурной организации материи, лежащих в основе вероятностных идей, значительное внимание

уделял Н. Винер в своих работах по философскому обоснованию кибернетики и ее методов. «...Мы должны рассматривать организацию, — пишет он, — как нечто обладающее взаимосвязью между отдельными организованными частями, причем взаимосвязь эта не единообразна. Связи между одними внутренними частями должны играть более важную роль, чем между другими, иными словами, связи внутри организации не должны быть абсолютно устойчивыми, чтобы строгая определенность одних ее частей не исключала возможности изменения каких-то других. Эти изменения, различные в различных случаях, неизбежно носят статистический характер, и поэтому только статистическая теория обладает достаточной гибкостью, чтобы в своих рамках придать понятию организации разумный смысл» [2; 309]. И далее: «...с точки зрения кибернетики мир представляет собой некий организм, закрепленный не настолько жестко, чтобы незначительное изменение в какой-либо его части сразу же лишало его присущих ему особенностей, и не настолько свободный, что всякое событие могло произойти столь же легко и просто, как и любое другое. Это мир, которому одинаково чужда окостенелость ньютоновой физики и аморфная податливость состояния максимальной энтропии или тепловой смерти, когда уже не может произойти ничего по-настоящему нового. Это мир Процесса...» [2, стр. 314].

В становлении и развитии идеи об автономных уровнях в строении и детерминации сложных систем, особенно в выработке строгих методов анализа характера взаимосвязи между этими уровнями, важнейшее значение имеют методы теории вероятностей. Что же придает вероятности указанную «гибкость»? Чтобы разобраться в этом, обратимся кратко к рассмотрению содержания теории вероятностей.

Теория вероятностей есть математическая наука, изучающая закономерности массовых случайных явлений. Точка зрения массовости (как некоторого аспекта системности) лежит в самих основах этой науки. Говоря об объектах исследования теории вероятностей как о массовых явлениях, необходимо сделать два замечания. Прежде всего точка зрения массовости не исключает исследования отдельных, индивидуальных объектов и сущностей: последние в данном случае исследуются с точки зрения их вхождения в определенные массовые образования, и на этом вопросе мы в дальнейшем остановимся специально.

Далее, теория вероятностей исследует не вообще массовые явления, а некоторый их класс, который определяется как случайные массовые явления. Случайность здесь означает, что при переходе от одного явления к другому (от одного элемента множества к другому) характеристики явлений изменяют свои значения независимым образом, т. е. значения характеристики одного явления существенно не зависят и не определяются зна-

чениями этой характеристики у других явлений. Типичный пример класса случайных массовых явлений дает в физике обычная теория газов: механическое состояние каждой молекулы газа в своей основе не зависит и не определяется состояниями других молекул. Свой аналогичный случайный аспект имеет любое массовое явление, хотя эта случайность по-разному может характеризовать глубину проникновения вероятностных методов в его сущность. Например, методами теории вероятностей можно характеризовать производительность труда некоторого производственного коллектива в той мере, в какой производительность каждого из его работников не определяется производительностью труда его соседей по рабочему месту, а обусловлена его личными способностями.

Центральным понятием теории вероятностей является понятие вероятностного распределения или просто распределения. Именно на базе этого понятия осуществляются столь успешные «приложения» этой теории. На основе понятия распределения объединяются другие понятия, имеющие принципиальное значение для понимания всей теории. При этом следует иметь в виду, что понятия теории вероятностей, как и вообще понятия математики, например числа и функции, весьма абстрактны, сильно отвлечены от «конкретной» материальной природы соответствующих объектов и в то же время именно в этом отвлечении обретают силу.

Распределение означает, что, несмотря на изменение значений некоторых характеристик от явления к явлению, относительное число элементов с определенным значением этих характеристик довольно устойчиво. Эта устойчивость и есть выражение вероятности. Другими словами, задание распределения некоторой случайной величины есть задание возможных значений, которые может принимать эта величина, и соответствующих им вероятностей.

Распределения выражают внутреннюю упорядоченность в соответствующем массовом явлении. Вместе с тем наиболее глубокий смысл и значение вероятностных распределений стали выясняться по мере того, как распределения начали становиться предметом самостоятельного исследования, т. е. когда заинтересовались разнообразием самих распределений, когда были выдвинуты представления о видах (типах) распределений и поставлен вопрос о причинах этого разнообразия. Многие из видов распределений образуют предмет специальных исследований. Таковыми являются, например, нормальное распределение (распределение Гаусса), распределение Пуассона и др.

Коль скоро введены представления о типах, видах распределений, то, естественно, встает вопрос о способах их характеристики. В большинстве случаев виды распределений определяются чисто описательным образом, но в наиболее развитых случаях применения теории вероятностей вступают в действие и аналитические средства. Последнее особо характерно для квантовых теорий в

физике. При этом следует отметить, что вероятностный язык в квантовых теориях используется своеобразным образом. Формулировка квантовых задач дается не непосредственно на языке вероятностных распределений, а прежде всего с помощью так называемых волновых функций. Однако последние являются весьма абстрактными характеристиками распределений: квадрат модуля волновой функции в некотором представлении определяет собой вероятность соответствующей физической величины, и эта связь волновых функций с вероятностью вообще является оправданием их употребления в квантовой теории.

При характеристике микрочастиц посредством волновых функций в квантовую теорию вошло представление о виде (характере, типе) волновых функций, соответственно чему волновая функция может быть скаляром, вектором, спинором, псевдоскаляром, псевдовектором и т. д. Вид волновых функций достаточно однозначным образом определяется так называемыми квантовыми свойствами элементарных частиц — спином и четностью, которые с самого начала в теорию вводятся как характеристики волновых функций в целом. Другими словами, используемые в квантовой теории величины (за исключением ряда постоянных величин, не имеющих объяснения в теории и берущихся непосредственно из опыта) делятся на два класса: первый класс составляют так называемые наблюдаемые (например, такие величины, как координаты и импульс), на базе которых и возникают представления о вероятностных распределениях; второй класс образуют квантовые числа как характеристики волновых функций (вероятностных распределений) в целом, их параметры; сами же распределения представляют форму связи этих двух классов величин.

Подобная ситуация является типичной вообще для всех случаев использования теории вероятностей для познания и выражения свойств и закономерностей материального мира. Во всех этих случаях характеристики (параметры) объекта исследования делятся на два класса, относящиеся по существу к различным структурным уровням его организации. Характеристики первого, «низшего» уровня — это те, которые постоянно и независимым образом изменяют свои значения при переходе от одного элемента к другому в исследуемом массовом явлении, и соответственно каждое из значений которых рассматривается как случайное событие. Характеристики более глубокого уровня связаны с наличием определенных закономерностей, регулярностей в массе случайных событий и выражают эту регулярность. При этом весьма существенно, и это связано с сутью вероятностного духа исследования, что характеристики обоих уровней относительно автономны, независимы друг от друга; характеристики второго уровня, определяя вид распределения, не определяют собой каждое конкретное случайное событие. Другими словами, характеристики высшего уровня лишь обобщенным, интегральным образом определяют со-

бой характеристики низшего уровня. В то же время связи между характеристиками высшего уровня носят вполне определенный «жесткий» характер. Возможность подобного «сочетания» различных классов характеристик при отображении свойств объекта исследования достигается тем, что соответствующие закономерности формулируются на языке распределений как зависимости между ними и их свойствами.

Сказанное о содержании теории вероятностей позволяет, на наш взгляд, понять ее роль и значение в современной науке. Именно тот факт, что методы теории вероятностей дают строгие теоретические средства анализа и выражения закономерностей объектов исследования с двумя относительно выделенными и автономными уровнями внутреннего строения и организации, и объясняет секрет успеха идеи вероятности в познании реального мира. И именно этим же объясняется колоссальное значение идеи вероятности для развития современных диалектических представлений и прежде всего для развития таких проблем, как проблемы взаимопроникновения жесткого и аморфно-пластичного начал структуры материальных систем, начал соподчинения и координации, широкой автономности элементов и гармонии целого, сохранения и истинного обновления и многих аналогичных.

Вероятностный синтез

Выражая наличие относительной устойчивости, упорядоченности в определенных классах массовых явлений, вероятностные распределения тем самым являются их структурными характеристиками. Категория структуры — одна из важнейших в исследованиях систем, и именно посредством этой категории прежде всего и отображается характер синтеза элементов в некоторое целое, который в случае сложных систем включает в себя автономность подсистем.

Структурный подход к исследованию систем характеризуется, как правило, совместным рассмотрением их строения и функционирования, что является специфичным для собственно системных исследований. Чтобы оттенить эти особенности системно-структурного подхода, рассмотрим два других, исторически более ранних. Первый из этих предшественников называют макроскопическим или чисто функциональным. В данном случае в основу кладется познание свойств и поведения систем в целом. Сами системы рассматриваются как «черные ящики», т. е. от их внутреннего строения по тем или иным причинам отвлекаются: оно «строго опечатано». Системы исследуются по их функциональному поведению: они подвергаются определенным воздействиям (данные на «входе» систем) и регистрируются их ответные реакции (данные на «выходе»); полученные результаты «кодируются на языке свойств системы. «Теория «черного ящика», — отмечает

У. Росс Эшби, — есть просто теория реальных объектов или систем, в которой уделяется особое внимание вопросу о взаимосвязи объекта и наблюдателя, вопросу о том, какая информация исходит от объекта и как она получается наблюдателем. Таким образом, теория „черного ящика“ есть попросту изучение отношения между экспериментатором и окружающей его средой, когда особое внимание уделяется потоку информации» [9, стр. 159]. Функциональным образом зачастую устанавливается и сам факт внутренней дифференциации систем.

Макроскопические методы исследования сложных систем приводят к весьма существенным результатам в познании свойств как систем в целом, так и их элементов. Так, например, У. Росс Эшби, рассматривая сложные системы по существу в рамках указанных методов, получает достаточно определенные выводы о свойствах их подсистем: «... Каждая часть имеет как бы право вето для состояний равновесия всей системы. Никакое состояние (всей системы) не может быть состоянием равновесия, если оно неприемлемо для каждой из составляющих частей, действующих в условиях, создаваемых другими частями» [9, стр. 123], поведение системы не определяет однозначным образом связей между ее частями [9, стр. 136—137] и т. д.

Вопрос о возможностях макроскопических методов в познании сложных управляющих систем и тех задач, которые решаются на этом пути, подвергался систематическому рассмотрению в работе А. А. Ляпунова и С. В. Яблонского «Теоретические проблемы кибернетики» [8]. Авторы отмечают, что методами макроподхода решаются такие классы задач, как выяснение потоков информации, раскрытие кода информации, выявление функции управляющей системы и изучение функционирования систем. Вместе с тем они указывают, что в рамках кибернетики «макроподход является ограниченным, поэтому он не дает возможности полностью уяснить строение управляющей системы. Так, очевидно, что макроподход почти не дает никакого представления о структуре схемы управляющей системы. Как правило, он не позволяет найти также и полную функцию управляющей системы, ибо невозможно внешним экспериментом обнаружить характер изменений внутренней памяти и наличий преобразований схемы (какое, например, имеет место при работе программы). Несмотря на все это, макроподход имеет большое значение в исследовании управляющих систем, особенно на первой стадии» [8, стр. 13].

Следует отметить, что движение познания вглубь материи, поиски ее фундаментальных единиц всегда начинались на путях чисто функциональных методов исследования. Сама идея атомизма явилась великой догадкой древних, сделанной на основе наблюдений «обычных» превращений веществ. Представления об атомах и молекулах в кинетическую теорию газов вошли гипотетически, на основе феноменологического анализа химических и тер-

модинамических процессов. Становление атомистических идей в химии тоже шло на этих путях. Существование генов также было предсказано на основе формальной генетики задолго до того, как началось их непосредственное исследование. Гипотеза кварков, выдвинутая в настоящее время в физике элементарных частиц, также основывается на исследованиях «внешних» проявлений свойств симметрии сильно взаимодействующих элементарных частиц. «Прозрение внутренних причин явлений по их внешним проявлениям, — говорит Я. Б. Зельдович, — может быть и есть самое важное, самое дорогое и увлекательное во всей науке» [5; 313].

Другой путь познания систем можно назвать строго микроскопическим, или подходом изнутри, когда исходят из знаний только об объектах, образующих систему. В данном случае свойства, характеризующие общность поведения элементов системы, стремятся целиком и полностью вывести из свойств ее составляющих, а задача дополнительного и независимого (самостоятельного) исследования свойств системы в целом и привлечения его результатов при синтезе системы не ставится и по существу считается излишней. Строго микроскопические методы весьма широко распространены при исследованиях систем типа механических, они имеют важное значение и при исследованиях сложных систем в кибернетике. В упомянутой выше работе А. А. Ляпунова и С. В. Яблонского к задачам, решаемым на путях микроподхода, относятся такие, как выявление элементов систем, выявление связей между элементами, вопросы алгоритмизации, анализа, синтеза и эволюции систем управления.

Следует специально подчеркнуть, что в общем случае чисто микроскопический путь познания систем предполагает, что свойства их элементов могут быть достаточно полным образом познаны вне и независимо от их вхождения в эти системы. И именно в этом заключается его слабость. Дело в том, что соответствующие свойства элементов систем выражаются через характеристики самих систем, в том числе и через характеристики структуры системы. Другими словами, познание объекта включает в себя знание определенных свойств тех систем, в которые он может входить. Отсюда следует, что исследование свойств и законов поведения объектов в составе систем требует прямого, непосредственного исследования самих систем.

Системно-структурный подход к исследованию систем, отражая единство их строения и функционирования, как бы синтезирует, объединяет на новой основе оба указанных выше пути подхода к исследованию систем — подходы извне и изнутри. При собственно системном подходе важнейшее значение приобретает анализ способов, принципов связи макро- и микрохарактеристик систем, т. е. характеристик систем в целом и характеристик элементов, Объективной основой этого синтеза является их структура,

а разработка путей и методов синтеза означает познание структуры. С развитием представлений о системах развиваются и представления о структуре. Простейшие особенности задания структурных характеристик систем хорошо вскрываются на примере вероятностных систем.

Первыми материальными системами, при познании которых выявилась сила и действенность вероятностных идей и методов в естествознании, явились газы. Исторически разработке статистической теории газов предшествовало, с одной стороны, создание основ термодинамики, т. е. макроскопической (не зависящей от атомистических представлений) теории газов, а с другой — разработка теории механического движения простейших объектов классической механики. Развитие идей атомизма в учении о газах поставило вопрос о своеобразном «синтезе» макроскопической теории газов и классической механики, т. е. задачу исследования свойств и закономерностей газа с учетом его внутренней дифференциации и интеграции. Осуществление этого синтеза и оказалось возможным на основе использования в физике вероятностных методов исследования.

Соответственно сказанному распределения, как структурные характеристики, зависят от двоякого рода величин: от величин, характеризующих элементы, и от величин, характеризующих системы в целом. В статистической физике в качестве первого рода величин выступают прежде всего характеристики внутренней природы частиц, в зависимости от которых мы имеем либо классическую статистику Максвелла-Больцмана, либо симметрическую статистику Бозе-Эйнштейна, либо антисимметрическую статистику Ферми-Дирака. В качестве второго рода величин выступают (в общем случае) энергия, число частиц и объем системы, которые определяются в конечном счете макроскопическим образом.

Структурные исследования статистических систем строятся на основе синтеза макро- и микроподходов к познанию этих систем, когда исследования с точки зрения системы в целом и независимые исследования свойств ее составляющих элементов необходимым образом дополняют и видоизменяют друг друга. Основная цель таких структурных исследований состоит в том, чтобы раскрыть, как влияет изменение характеристик системы в целом на характеристики ее составляющих и обратно. Такая постановка вопроса ясно говорит, что взаимоотношения между макро- и микроуровнями в рассматриваемых системах весьма богаты и сложны и не могут уместиться в узкие рамки простой дедукции, выведения одного из другого. В сложных системах структурные переходы от отдельных элементов к целостным характеристикам систем (и обратно) включают в себя черты непосредственной новизны, которые не содержатся в исходных посылках и которые нуждаются в самостоятельном анализе.

Выработка прямых, непосредственных методов системно-структурного исследования материальных систем наиболее интересна и в то же время весьма трудна. Пример развития статистических исследований в физике говорит о том, что выработка этих методов включает в себя предварительное и независимое развитие некоторой математической теории. Далее, выработка системных методов включает также раскрытие определенных регулярностей в массе явлений, а характеристики систем в целом соотносятся прежде всего с этими регулярностями. Сами регулярности выражают структуру систем. Соответственно этому связи между характеристиками элементов и характеристиками систем в целом носят не прямой характер, а «опосредованный», глубинный: минуя представления о структуре, эти связи невозможно установить. «Опосредованный» характер рассматриваемых связей играет фундаментальную роль в системно-структурных исследованиях; в частности, признание этого факта является необходимым условием раскрытия природы автономности элементов в составе систем.

При рассмотрении проблемы обоснования статистической физики необходимо иметь в виду, что общий характер статистических закономерностей не зависит от конкретной природы частиц, составляющих исследуемые системы. «Специфика систем, изучаемых статистической механикой, — пишет А. Я. Хинчин, — состоит главным образом в том огромном числе степеней свободы, которыми располагают эти системы. Методологически это означает, что позиция статистической механики определяется не механической природой, а атомистическим строением материи; дело обстоит почти так, что статистическая механика ставит своей целью проследить, как далеко идут выводы, которые могут быть сделаны из представления об атомистическом строении материи, какова бы ни была природа этих атомов и каковы бы ни были законы их взаимодействия...» [12, стр. 12—13].

Рассмотренные особенности задания вероятностных распределений как структурных характеристик находят своеобразное выражение в квантовой теории. Современная квантовая теория — теория микропроцессов — является принципиально статистической, т. е. существенным образом включает в себя понятие вероятности. Вместе с тем является весьма примечательным тот факт, что в квантовой физике произошел сдвиг интересов в самой постановке основной задачи статистических теорий: в квантовой теории вероятностные методы используются прежде всего для познания свойств и закономерностей индивидуальных квантовых частиц. В свете рассмотренных выше замечаний о распределениях данную особенность статистических методов в квантовой теории можно понять: распределения существенным образом определяются внутренними свойствами соответствующих частиц, и, следовательно, на основе распределений можно изучать эти свойства частиц,

При этом напомним, что в квантовой теории произошел переход от непосредственного использования вероятностных распределений к волновым функциям при характеристике исследуемых систем.

Вероятностные распределения в статистической физике, как мы видели, определяются двумя видами параметров — параметрами, определяющими индивидуальные свойства частиц (элементов), и параметрами, выражающими целостные свойства систем. В случае волновых функций зависимость их от характеристик, свойств индивидуальных микрообъектов является просто очевидной — они явным образом входят в выражения волновых функций. Зависимость же от целостных свойств систем выражается иным, более опосредованным образом — через естественные граничные условия, накладываемые на волновые функции, и через задание условий образования статистических коллективов в квантовой физике. В связи с последним представляет интерес следующее высказывание Л. И. Мандельштама: «Волновая механика — статистическая теория. Но говорить о статистике и вероятности можно, только имея определенную совокупность элементов, к которой эта статистика относится. В волновой механике такой совокупностью является совокупность повторных опытов (каждый индивидуальный опыт есть ее элемент), причем повторение должно происходить при одних и тех же условиях...

...Назовем эту совокупность, над которой продельвается статистическая обработка, коллективом. Коллектив должен быть как-то выделен, иначе теряет смысл постановка любого вопроса о нем. Так вот говорят, что $|\psi|^2$ вероятность. Но в каком коллективе? Если этого не указать, то возможны всякие неясности и парадоксы...

Разумеется, и в классике мы сталкиваемся с тем же вопросом. Мы можем говорить о максвелловском распределении скоростей только при постоянной температуре. Если температура изменяется, то распределение будет совсем другое. То же самое имеет место и в тех классических задачах, в которых не говорят о коллективе... Таким образом, при всяком теоретическом рассмотрении условия опыта надо определить, и это определение всегда может быть сведено к фиксированию некоторых параметров.

Мы подошли к тому, что я считаю наиболее существенным и важным. А именно, волновая механика утверждает, что для *определения микромеханического коллектива, к которому относится ψ -функция, достаточно указать (фиксировать) макроскопические параметры* [7, стр. 355—356].

Признание зависимости волновой функции микрообъекта от макроусловий (от условий, задаваемых классическим образом) является существенной чертой трактовки квантовой теории. Указанная зависимость и означает, что задание волновых функций микрочастиц включает в себе их целостные, интегральные харак-

теристики, которые выражаются через макропараметры. На фундаментальное значение этих вопросов постоянно обращает внимание В. А. Фок, когда говорит о невозможности отвлечься при изучении атомных объектов от средств наблюдения (измерительных приборов) [11, стр. 229].

Сказанное, как и в случае классической статистической физики, самым непосредственным образом связано с определением вероятности: все ее традиционные определения, исходящие из схемы рядов независимых испытаний, всегда включают в себя указания на условия, в которых вероятность обнаруживает себя.

Говоря о структуре вероятностных систем, следует отметить, что именно с отображением особенностей этих структур и связаны основные естественнонаучные идеи соответствующих теорий. Последнее особо наглядно выражается в квантовой теории: корпускулярно-волновой дуализм, как основная специфическая черта квантовых процессов, и представляет собой наиболее отличительную черту соответствующих вероятностных распределений.

Объект как элемент системы

Развитие системных исследований существенным образом видоизменяет и способы характеристики индивидуальных, отдельных объектов — они рассматриваются как элементы определенных материальных систем, т. е. их свойства и существование с самого начала ставятся в зависимость от других элементов этих систем.

Строгое естественнонаучное познание структурной организации материи началось с познания отдельных объектов «самих по себе». Механика, как первая «математизированная» естественнонаучная теория, начала свое развитие с изучения законов пространственного перемещения индивидуальных макротел. В учении об электричестве также отправной точкой явилось изучение свойств и законов взаимодействия отдельных заряженных тел. Химия исходит из изучения свойств отдельных веществ. Биология — из изучения свойств отдельных представителей растительного и животного мира. Соответственно этому первоначальному подходу науки к изучению явлений природы материальный мир, так сказать, вначале делился на отдельные объекты, существующие абсолютно независимо друг от друга. В этих случаях объект отчуждался от всего остального мира, ему давалось название и он познавался в своих отношениях ко всему остальному нерасчлененному миру в целом как существующий сам по себе. Эта особенность первоначального периода развития естествознания особо наглядно выражается и иллюстрируется самим первоначальным, «классическим» толкованием классической механики. Как хорошо известно, основные механические характеристики тел — масса, пространство и время — в классический период развития физики трактовались абсолютным образом. Масса тел рассматривалась как

мера количества материи, находящегося в данном теле испокон веков и не зависящего ни от чего. Основу воззрений на пространство и время составляли представления о них как об абсолютных сущностях, существующих независимо от вещей. Пространство рассматривалось как беспредельная пустота (вместилище вещей), время — как безостановочная длительность. Соответственно этому характеристики тела в механике трактовались как его характеристики по отношению ко всему остальному миру, рассматриваемому интегральным образом: масса — это определенное количество материи, приходящееся на долю данного тела, пространственные характеристики определяют его место, а временные характеристики — его длительность в мире в целом. Другими словами, первоначальное познание объекта основывается на таком его выделении из всего окружающего мира, когда еще не придается существенного значения дифференциации этого окружения, т. е. не учитывается тот факт, что внутренние свойства и существование различных материальных объектов взаимообусловлены.

Макротело в механике рассматривается как объект, отчужденный от всего остального мира и познаваемый в этом «гордом» отчуждении. Взаимодействие нескольких макротел друг с другом (посредством столкновения) трактуется как взаимодействие отчужденных объектов. Здесь нужно оговорить следующее. Познаются отчужденные объекты, конечно на основе их взаимодействий, в ходе этих взаимодействий, т. е. относительным образом. Однако природа этих объектов, их свойства трактуются абсолютным образом, т. е. как независимые друг от друга и от их взаимодействий.

По мере своего развития естествознание все определеннее вскрывало недостаточность представлений об отчужденных объектах для выражения структурной организации материи.

Положение о взаимообусловленности и взаимозависимости свойств отдельных объектов, образующих системы, составляет одно из важнейших достижений современной атомистики. Особо интересное развитие эта идея получает в современной физике элементарных частиц, что находит свое отражение в разработке представлений о новых квантовых числах, например — странности, в развитии теории симметрии сильно взаимодействующих частиц, в гипотезе «зашнуровки» и вообще во всем богатстве теоретических положений и экспериментальных фактов физики элементарных частиц. «Согласно гипотезе „зашнуровки“ предполагается, — пишут М.Гелл-Манн, А.Розенфельд и Дж.Чу, — что каждая сильно взаимодействующая частица является связанным состоянием тех каналов, с которыми она находится в коммуникации, а ее существование полностью обязано силам, связанным с обменом сильно взаимодействующими частицами, которые находятся в коммуникации с перекрестными каналами. Каждая из этих последних частиц в свою очередь обязана своим существованием группе сил,

в которую первая частица вносит свой вклад. Другими словами, каждая частица помогает создавать другие частицы, которые в свою очередь образуют ее самое. В такой замкнутой и в высшей степени нелинейной ситуации вполне может оказаться, что не существует свободных или произвольных переменных вообще (за исключением чего-то, что устанавливало бы шкалу энергии) и что единственным самосогласованным набором частиц является тот, который реализуется в природе» [3, стр. 723].

На первый взгляд может показаться, что переход к познанию объекта как элемента материальных систем не обязательно ведет к более глубокому познанию его внутренних свойств и его сущности, поскольку в данном случае наши познавательные интересы направлены прежде всего на вскрытие структурных взаимоотношений в системах, а сами объекты, так сказать, отодвигаются на периферию исследовательских интересов. Однако уже простой сравнительный анализ показывает, что познание объекта как элемента структурных материальных систем представляет собой и более глубокое познание его внутренних свойств, его сущности. В этом сказывается диалектика процесса познания: переход от объекта к системе, к исследованию связной совокупности объектов есть одновременно и углубление в сущность самих этих объектов.

Без учета указанной диалектики развития познания объектов в составе систем трудно разобраться в содержании вероятностно-статистических идей и методов исследования. Идея вероятности вошла в физику, повторим, при разработке классической статистической механики, прежде всего — при разработке молекулярно-кинетической теории газов. При рассмотрении этой теории в первую очередь обращают внимание на те результаты, которые были получены в исследовании свойств и закономерностей достаточно больших объемов (или масс) газов, т. е. на макроскопические, интегральные характеристики газов как определенных материальных систем. Меньше внимания обычно уделяется анализу развития в этой теории представлений о самих атомах, как элементарных объектах, из которых классическая физика «слагала мир». А между тем и в этом отношении в классической статистической физике были достигнуты значительные результаты.

В развитии своего понимания элементарных объектов классическая статистическая механика исходила из представлений об отдельных объектах, выработанных в классической механике. Классическая механика рассматривала эти объекты как материальные (геометрические) точки, отвлекаясь от их структуры. В статистической физике такой взгляд на природу элементарных объектов оказался недостаточным: она дополнила характеристику этих объектов представлениями о наличии у них внутренних сил (классическая механика знает только внешние силы), выявила изотропный, симметричный (шаровая симметрия) характер действия этих

сил (отсутствие у объекта выделенных направлений взаимодействий, обусловленных его внутренним строением) и ввела представления об эффективных сечениях. Легко видеть, что эти изменения идут по линии проникновения во внутреннее строение отдельных объектов. Квантовая механика благодаря достигнутому ко времени ее создания высокому уровню развития теоретических методов сразу приступила к изучению микрообъектов через призму вероятностных систем, что и обеспечило ее успехи в познании внутренних свойств микрочастиц.

Возможность проникновения во внутреннюю структуру объектов при их исследовании в составе вероятностных систем по сравнению с их исследованием отчужденным образом, т. е. вне и независимо от их вхождения в какие-либо системы, обусловлена использованием структурных характеристик (вероятностных распределений) для познания свойств этих объектов. В случае системных исследований элементы определяются на основе структурных характеристик соответствующих систем, а именно с этим связана важнейшая роль волновых функций в квантовой теории.

* * *

Вероятностные идеи и методы соответствуют достаточно простой абстрактной теоретической модели сложных систем; они основываются на выделении двух автономных уровней внутренней организации. В реальной жизни большинство сложных систем характеризуется гораздо более значительным числом структурных уровней и разнообразием конкретных форм субординации и взаимодействий между ними. Таковы, например, все биологические системы.

Дальнейшее развитие представлений о сложных системах, несомненно, приведет и к разработке новых методов, обобщающих основные результаты, полученные на базе теории вероятностей. Вероятность утверждает собой на основе развития соответствующих методов исследования существенную роль независимости и автономности в «жизнедеятельности» систем и объектов. Признание существенной роли независимости и автономности является необходимой предпосылкой раскрытия более интимных свойств сложных систем и прежде всего выявления сущности внутренней целесообразной активности, внутренней свободы живых систем как величественной загадки природы, наличию которой мы обязаны своим существованием. Современные исследования по проблеме управления в сложных системах и идут в этом направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Винер Н. Кибернетика и общество. М., 1958.
2. Винер Н. Я — математик. М., 1964.
3. Гелл-Манн М., Розенфельд А., Чу Дж. Сильно взаимодействующие частицы. — «Успехи физических наук», т. 83, 1964.
4. Гельфанд И. М., Цетлин М. Л. О математическом моделировании механизмов центральной нервной системы. — «Модели структурно-функциональной организации некоторых биологических систем». М., 1966.
5. Зельдович Я. Б. Классификация элементарных частиц и кварки «в изложении для пешеходов». — «Успехи физических наук», т. 86, вып. 2, 1965.
6. Каценелзбойген А. И., Овсиенко Ю. В., Фаерман Е. Ю. Некоторые теоретические вопросы оптимального планирования народного хозяйства. — «Вестник Академии наук СССР», № 12, 1965.
7. Мандельштам Л. И. Лекции по основам квантовой механики. — «Полное собрание трудов», т. V, М., 1950.
8. Ляпунов А. А., Яблонский С. В. Теоретические проблемы кибернетики. — «Проблемы кибернетики», вып. 9, М., 1968.
9. Эшби У. Росс. Введение в кибернетику. М., 1959.
10. Сент-Дьердьи А. Введение в субмолекулярную биологию. М., 1964.
11. Фок В. А. Об интерпретации квантовой механики. — «Философские проблемы современного естествознания». Труды Всесоюзного совещания по философским вопросам естествознания. М., 1959.
12. Хинчин А. Я. Математические основания статистической механики. М.—Л., 1943.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В БИОЛОГИИ И В МОДЕЛИРОВАНИИ ПСИХИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

К АНАЛИЗУ ОБЩИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ САМСОРГАНИЗАЦИИ

М. Ф. ВЕДЕНОВ, В. И. КРЕМЯНСКИЙ

Явления самоорганизации понимаются обычно как преобразования, в результате которых совершаются переходы от менее организованного к более организованному. Очевидно, для анализа соответствующих понятий и принципов надо знать прежде всего, что такое организованность, организация. Но хотя всеми признана теперь новая и быстро возрастающая ценность этого старого понятия, его определения разработаны пока еще недостаточно. Попробуем сначала резюмировать их и несколько дополнить в рассматриваемых отношениях.

1. О понятии организации

Слово это имеет различные значения; здесь имеется в виду «организация» в смысле комплекса свойств, а не в смысле процесса или вещи (например, коллектива, учреждения).

Большинство авторов отмечает преимущественно одну сторону этого комплекса свойств, которая выражает *определенную упорядоченность* данного образования и совокупности его взаимодействий. Ряд авторов подчеркивает при этом, в особенности для высокоорганизованных систем, значение того, что упорядочивание выражает какую-то «установку» или квазицель, «телеономичность» (Питтендрай), вообще директивность (Зоммергоф) или *направленность* [15]. Менее часто обращают внимание на обязательную для орга-

низации *выделенность* [13], *раздельность* [21] или вообще относительную «несвязность» [18] элементов, периодов, стадий*. Вторая группа свойств принимает у биологических и социальных (значит, и технических) систем различные формы «корпускулярности» специализированных элементов, несущих информацию [15], автономизации частей [9] и вообще *частичной неупорядоченности*, не устраняемой *системной* упорядоченностью, а находящейся в противоречивом *единстве* с нею [3].

Нетрудно видеть, что общие определения организации почти полностью совпадают с определениями структуры; близость этих понятий общеизвестна. Мы принимаем, что объем первого больше. Организация может быть нестабильной [1], тогда как понятие структуры отображает лишь наиболее устойчивые [17], инвариантные в преобразованиях проявления данной упорядоченности отношений и связей между тоже устойчиво выделенными элементами образования или актами процесса его деятельности. Становясь устойчивой, организация приобретает в структуре свои наиболее развернутые, как бы выкристаллизованные выражения, также не только статические (в смысле строения, морфологии), но и динамические или функциональные.

В большинстве определений употребляется термин «система». Это не случайно: как и структура, организация — именно «системное» понятие. Оно всегда отображает свойства, присущие данному объекту как «целому», но взятому не в простой цельности, а обязательно в качестве расчлененного и притом дифференцированного целого. Объектом исследования может быть и элемент системы, но если изучается его собственная организованность, то он рассматривается тоже как система — одного из нижележащих структурных уровней.

Понятие организации тесно связано и с понятием «уровней». Действительно, если понятие организации системно, а в системе всегда постулируются и реально существуют по крайней мере два уровня содержания (и форм) — целого и элементов (бывают и промежуточные уровни подсистем, органов, блоков), то в понятии организации всегда должно быть отображено существование по крайней мере двух ее уровней. Один из них принимается за основной и обыкновенно (в природе) исторически первичный; это уровень условноточечных или вообще «основных относительно неделимых» [16] элементов, а другой — уровень системы как целого.

Но часто в понятии организации должно быть отображено существование более многочисленного ряда уровней, внутреннего для данной системы. Поскольку в линиях прогрессивного развития переходы к более высоким уровням совершаются не путем уничтоже-

* Несвязность может быть первичным *отсутствием* связей или производной, основанной на *развитии* связей. В последнем случае развитие неравномерно, связано с дифференциацией и приводит к обособлению частей.

ния прежних объектов, а посредством их объединения, интеграции с последующим «дифференцированием» и видоизменением этих объектов (принципы надстраивания и снятия), в таких линиях число внутренних структурных уровней неуклонно увеличивается, системы становятся все более многоярусными, «многоуровневыми». Таковы в особенности биологические и социальные системы.

Еще больше усложняется в данном отношении понятие организации—соответственно, конечно, и понятие самоорганизации, — когда в таких системах развиваются специфические взаимосвязи между уровнями [6], «вертикальные», по выражению Ю. А. Жданова, наряду с отношениями и связями в пределах каждого из уровней, «горизонтальными». Оба эти типа отношений и связей приводят у таких систем к возникновению не только все более сложных *непосредственных* структур, но и *опосредованных* структур. При формировании вторых все большее значение приобретают информационные процессы, понимаемые в смысле *единства отображения и программирования или в смысле перспективного* («перспективного», по Н. А. Бернштейну, а также «опережающего», с участием акцепторов действия, по П. К. Анохину) *отображения*. Все более важное значение приобретают также функции *управления*. Такие явления не могут быть адекватно отображены понятием «обмена информацией» между частями, о котором говорил У. Росс Эшби, обсуждая проблему определения «хорошей» организации [21].

И когда на сцену выступает *кодирование* отображений и программ (или планов в обществе), отношения между уровнями (прежде всего между целым и частью) становятся не только более сложными, но нередко даже и обратными первоначальному. Возникающие компактные суперструктуры [3] или *гиперструктуры*, отображающие или программирующие отношения системы как целого, могут быть закреплены в подходящих для этого специализированных элементах и группах элементов, принадлежащих даже к несмежному уровню. Например, значимые фрагменты программы онтогенеза сложнейшего *многоклеточного* организма представлены в дискретных *участках макромолекул* определенного и притом индивидуализированного аperiодического полимера, выполняющих функции генов. Тогда элементы и сравнительно небольшие группы элементов выполняют функции частных и даже центральных *непосредственных* организаторов [11] определенных процессов, которые могут охватывать весь организм. Это означает, что положения о ведущей роли целого должны быть дополнены обратными, так как вследствие концентрации дифференцированных функций управления и регулирования ведущая роль целого переходит в свою противоположность—ведущую роль части [7]. Но это такая часть, которая несет в своей гиперструктуре «пучки» проекций или сгустки отношений, присущих системе как целому (свойство «саморефлексивности»

системы [47]). Тогда нарушается и то «соответствие» между уровнями или типами форм движения и материальными их носителями, которое в других случаях действительно существует [10].

Реальное взаимопроникновение объективно существующих и логических противоположностей, естественно, создает трудности для анализа явлений и понятия организации. В связи с этим и понятие самоорганизации нельзя определять как простое «упорядочивание» отношений только выделенных подсистем и элементов, лишь «обменивающихся» информацией. Понятие обмена информацией не выражает тех особенностей биологических и социальных систем, которые характеризуют главное во всей их организации.

Трудности создаются также бесспорной относительностью понятия «хорошей» или высокой организации. Это важно выяснить, конечно, и для определения понятия самоорганизации. Существуют тем не менее универсальные критерии или признаки, в принципе пригодные для количественного и объективного («точного») исследования степени организованности. Кроме тех, которые были названы У. Р. Эшби [21] — разделенности частей и обмена информацией между ними, — кажется целесообразным использовать также и такие комплексные показатели, в принципе тоже измеримые, как прибавочная энергия (Н. В. Рапевский) или прибавочная работа. По сути дела, эти физические показатели выражают не что иное, как меру возрастания организации, рассматриваемой в аспектах ее антиэнтропийного действия. Вполне объективен и достаточно универсален также и критерий превосходства в организации, основанный на превосходстве организатора над организуемым; он выражает в конечном счете соотношения главных структурных уровней [6].

Кроме того, следует использовать и те признаки, которые пока не поддаются количественным определениям, но в «качественной форме» устанавливаются достаточно объективно. Это прежде всего ряд признаков повышения организованности многоклеточных животных, выделенных эволюционной морфологией (в особенности школой А. Н. Северцова-И. И. Шмальгаузена) и эволюционной физиологией. Это также и те признаки, которые характеризуют уровни приспособленности. Хотя конкретные выражения приспособленности всегда относительны, существуют и такие приспособления, которые непосредственно имеют универсальное значение — они определяют *способности к приспособлению*, «приспособляемость» (В. В. Васнецов); одно из ее выражений — это и есть способность к повышению организации, в частности биологическая самоорганизация. Приспособляемость наиболее эффективна, когда она активна и относится к высшей нервной и внешней деятельности. Однако приспособляемость бывает не только активной, но и пассивной, причем может принимать формы групповой, а не индиви-

дуальной приспособляемости популяций и (или) семейно-стадных групп, где ее основы существенно отличаются от приспособляемости индивидов уже по одному тому, что тогда новые приспособления возникают через посредство надорганизменных отношений, чаще всего — посредством элиминации части особей. Разумеется, пассивная приспособляемость как путь повышения организованности в принципе противоположна самоорганизации, а сама по себе не обеспечивает ни надежности, ни прогрессивной направленности эволюции; единственный (и в довольно широком спектре вариаций однонаправленный) путь достижения наиболее высоких ступеней прогрессивной эволюции — это в конечном счете развитие активной и притом организующей деятельности в среде. Только это создает возможность *использования тел и сил среды для борьбы с ней самой* — единственную возможность преодолеть неизбежную ограниченность ресурсов собственной организации и энергии живого.

Таким образом, к числу объективных показателей высокой организации следует добавить наличие, размеры, мощность и, так сказать, проникающую способность *поля организующей активности* материальной системы. Его возникновение основано на повышении не только внутрисистемной, но и внесистемной дальности и мощности организующих (теперь мы должны сказать — *в частности*, и упорядочивающих) отношений. Нетрудно видеть, что понятие количества информации (на систему или на единицу объема) недостаточно для определения «высоты» организации (значит, и вообще для исчисления организации) прежде всего именно потому, что в этом понятии не отображены ни системность организации, ни системная и внесистемная дальность и мощность организующих отношений.

Трудности для определений создаются также и тем обстоятельством, что все названные признаки часто приходится рассматривать обязательно в соответствии со степенью «сложности», а это может быть и различие основных структурных уровней. Действительно, для определения высоты и количества организации необходимо найти не только меру, единицу, но и «нулевой» уровень организации, а при этом может обнаружиться, что «пустая» организация (по аналогии с понятием пустого множества) или ее отсутствие относится исключительно к одному из данных структурных уровней. Например, состояние жидкого раствора или газообразное состояние характеризуется в рассматриваемом отношении явным отсутствием организации только у достаточно большого множества молекул, ионов и т. д., в то время как у каждого из ближайших элементов этой слабо интегрированной системы (у молекулы или атома) существует вполне выраженная для своего уровня организованность. Для многих типов «невысокой» организации характерны аналогичные соотношения. Их можно определить в данном аспекте как сочетания системной неупоря-

доченности с частичной упорядоченностью. Аналогичные примеры известны на более высоких уровнях, — скажем, в стае саранчи или вообще в малоорганизованных популяциях, где не выделены подсистемы и элементы, выполняющие функции центральных непосредственных организаторов, между тем как основные элементы таких образований, многоклеточные организмы сравнительно развитых животных, на своем уровне отличаются высокими степенями дифференциации и концентрации функций регулирования и даже управления (нервная система, головной мозг).

Возрастание организации (в частности, и процессы самоорганизации) нельзя адекватно определить также и посредством одного лишь понятия «связывания» элементов: далеко не всякое усиление связей увеличивает количество организации (повторяем, не равнозначной простому упорядочиванию). Напротив, для биологических форм организации, — безусловно доказавших свои преимущества, так как они прошли на протяжении сотен миллионов лет суровый контроль естественного отбора, — необходимой оказалась та или иная форма *единства системной упорядоченности и частичной неупорядоченности*, оптимальная для данного структурного уровня и для данных экологических отношений [3] [4]. Это противоположно тому, что характерно в данном смысле для малоорганизованных систем. Можно строго доказать, что только при оптимальных сочетаниях системной упорядоченности и частичной неупорядоченности существуют предпосылки, необходимые для достижения высоких степеней способности к достаточно (для данного уровня) быстрым преобразованиям, — способности, включающей не только и не столько пассивную лабильность или пластичность, но и *активную изменчивость*. Без нее не могут быть достигнуты ни приспособляемость к среде, ни преодоление препятствий и опасностей в напряженной борьбе за жизнь. Одна из предпосылок развития изменчивости, которую тоже следует включить в число объективных признаков высокой организации, состоит в максимальной для каждого структурного уровня степени *многообразия* изменений. Оно может быть обеспечено при прочих равных условиях только при максимальном для этого уровня количестве степеней свободы у основных элементов системы, т. е. при сохранении и развитии относительной несвязности элементов; а она выражается в неупорядоченности их взаимодействий, изменений и развития, рассматриваемых по отношению к данной системе как к целому.

Поскольку упорядочение в ней достигается посредством регулирования и управления, централизованного на ее «макроскопическом» уровне, т. е. в масштабах целого, вывод получается такой: для самой высокой (в пределах данного структурного уровня) организации материальных систем необходимо оптимальное — в отношении данной функции или данного комплекса функций —

сочетание, единство централизованного управления и самоуправления частей. В аспектах рассматриваемой проблемы этому соответствует единство системной самоорганизации и самоорганизации частей; в аспектах детерминизма этому соответствует единство жесткой, однозначной и вероятностной, неоднозначной детерминации, а значит — и единство необходимости и случайности.

Мы назвали далеко не все объективные признаки «хорошей», высокой организации. Но и сказанное демонстрирует большую сложность и многоплановость понятия организации в его отношении к понятию самоорганизации, а главное — существенные отличия первого от общего понятия организации, образуемого по методу «выделения общего и сходного путем сравнений». Такое общее понятие всегда отображает только самое простое, первичное, низшее.

2. Некоторые общие принципы самоорганизации

Ни возрастание, повышение организации, ни возникновение организации материальной системы данного структурного уровня не может осуществляться достаточно быстро и эффективно, если исходный материал (обычно это группа менее организованных элементов) не обладает определенными признаками, делающими его наиболее пригодным для такого процесса в данных, конкретных его формах. Совокупность этих признаков создает сложное свойство *организуемости*. Она может быть *пассивной* или *активной* по отношению ко всей исходной группе как целому или по отношению к отдельно взятым элементам. Во втором случае некоторые или все элементы выступают в качестве инициаторов и организаторов тех формативных воздействий, которые элементы оказывают на свою среду, в частности, и друг на друга; формативные или формообразующие воздействия и выполняют функции «организующих отношений», всегда выходящих за рамки структурного уровня систем типа исходных элементов.

Вместе с тем выделение — при дифференциации — наиболее активных в данном отношении элементов лишает всю группу преобладания чисто кооперативных взаимодействий между равноценными элементами, вводит принципы отношений субординации; это при определенных условиях повышает эффективность организационных и вообще формативных влияний, но снижает уровень собственной активности большинства элементов. Тогда в процессе типа «самосовершающихся» принимает участие процесс противоположного типа — навязывание организации извне, предполагающее преобладание пассивной организуемости, например при выделении частных и центральных организаторов из числа самих исходных элементов. Это происходит при появлении среди группы макромолекул подгруппы ферментов, а также и генетической подсистемы в виде хромосомного аппарата в диффе-

ренцированной клетке; в обществе существуют аналогичные по функциям организаторов, но гораздо более сложные и содержательные элементы и подсистемы. Тогда остальные элементы и блоки приобретают организующие их отношения, главным образом в порядке навязывания «сверху», извне. Однако и при этом возможно — к этому нам придется вернуться — значительное участие собственной самоорганизации даже и таких элементов. Образование гиперструктур, естественно, содействует повышению роли тех элементов, которые способны быть носителями этих опосредованных структур; но во всякой сложной системе всегда необходимо достаточное многообразие элементов не одного, а нескольких уровней, так что внутренняя для системы как целого детерминация процессов повышения организованности части оказывается внешней, экзогенной по отношению к ее компонентам.

Тем не менее для всей данной системы детерминация таких процессов остается, конечно, внутренней, эндогенной по крайней мере в главном. Понятие самоорганизации отображает именно одну из форм «самосовершенствующихся» процессов, таких, которые приводят посредством тех или иных формативных воздействий к возрастанию, повышению организации в самой данной системе. Самоорганизация — одна из форм самодвижения, точнее — самоизменения и саморазвития материи.

Конкретизируя это положение, мы сразу убеждаемся в том, что понятие самоорганизации не может быть определено иначе, как во взаимосвязи с категориями внутреннего и внешнего, рассматриваемыми в аспектах причинности или, в более широком смысле, детерминизма. А все эти понятия, как и понятие организации, могут быть конкретизированы только в их отношениях с понятиями системности и структурных уровней. Так, внутреннее и внешнее не могут быть определены иначе как применительно к той или иной системе, имеющей по крайней мере два структурных уровня, и т. д.

Из коррелятивности понятий организации и самоорганизации с понятиями системности и структурных уровней следует, что должны быть выделены два главных типа процессов самоорганизации: 1) приращение организованности и «самонастройка», остающиеся в пределах одного и того же структурного уровня; 2) самозарождение системы более высокого уровня. Существуют также и безразличные в этом отношении преобразования, перестройки, не приводящие к повышению организованности; вместе с формами дезорганизации такие процессы и составляют остальные типы самоизменения. Кроме того, существуют и те формы преобразований, изменений, движения в широком смысле слова, которые в их конкретном содержании противоположны по отношению к их детерминации самодвижению вообще. Одна из самых трудных для познания проблем издавна заключалась в том, как могут элементы и процессы, явно лишённые в их конкретном содержании

активности, создавать образования, системы, которые явно обладают по крайней мере системной активностью. Идея монад, одаренных самодвижением даже на уровне атомов и субатомных элементов, до сих пор привлекает многих тем, что дает как будто бы выход из этого затруднения. Но логически это означает признание существенной *неизменности* вещей, невозможности возникновения чего-либо существенно нового. На деле техника продемонстрировала, наоборот, возможность создания из «косной» материи, лишенной макроскопической организации, высокоорганизованных систем, которым присущи хотя бы простейшие, механические формы активности; например, большинство из частей автомобиля (кроме горючего, да и оно способно только к неорганизованной активности, аналогично неупорядоченной радиоактивности некоторых атомных ядер) порознь лишено той способности к механическому самодвижению, которая заставляла толпы любопытных бегать за первыми неуклюжими экипажами с мотором, а несколько раньше — с паровым двигателем.

Как и при повышении организации, так и при ее расстройстве и дезорганизации, самодетерминируемых в главном и потому относящихся к типам самоизменения систем, самодетерминация не бывает у конечных систем абсолютно полной. Только «вся» Вселенная есть абсолютно полная «причина самой себя». За исключением почти полностью или условно изолированных систем, внутренняя детерминированность процессов их самоорганизации обязательно дополняется внешней или, в более широком смысле, внешнего происхождения, экзогенной. Их соотношения бывают очень различными, и эти различия необходимо учитывать в определениях общего (в собирательном смысле слова «общее») понятия самоорганизации; не менее существенны вместе с тем и различия внутренние, охватывающие типы и структурные уровни внутренних для данной системы как целого отношений и связей. Различия внутренних факторов и условий самоорганизации особенно важно учитывать при изучении биологических и социальных систем. Говоря о первых, надо отметить, что в индивидуальном развитии животного с определенным («регулятивным») типом морфогенеза происходит значительная дифференциация, а нередко и последовательная смена внутренних (непосредственных) центров регулирования и управления. При этом преобладание отношений кооперативных взаимодействий между равноценными элементами (например, бластомерами) сменяется преобладанием отношений субординации, иерархии организаторов и, наоборот, второе сменяется первым, — однако на других структурных уровнях. Эта смена касается лишь доминирования, главенствующей роли; на всех уровнях оба типа регулирующих и управляющих взаимодействий сосуществуют, не исключая, а, напротив, дополняя один другой — в оптимальных соотношениях, отработанных естественным отбором.

Процессы самоорганизации первого типа, при которых изме-

нения не выходят за пределы одного и того же структурного уровня, составляют предмет большинства современных исследований в этой области. Но организация может возникать в результате самосовершающегося процесса и там, где не было данной ее формы или заранее подготовленной программы ее развития, как в зародышевом зачатке. В таких случаях на первых стадиях возникновения организации более высокого структурного уровня, начинающихся после предварительного периода *конденсации* исходных элементов, образуется *групповое поле взаимодействий* между ними, где *направленность* изменений, создающих хотя и неоднозначно преддетерминированный, но в главном, определенный результат, выражает *избирательность* этих взаимодействий, зависящую от анизотропности собственных структур элементов (см. [12]). Именно с образованием поля взаимодействий между ними возникает «внутреннее» на новом уровне организации, а соответственно и *новая конкретная форма самодвижения* материальных систем, их самоизменения. Если новая система способна к развитию, выходящему за пределы простого «упорядочивания», то избирательные притяжения и отталкивания дополняются гораздо более сложными связями и отношениями, включающими все отмеченное выше многообразие форм дифференциации, рефлексии, регулирования и управления; но во всех случаях исходным пунктом системной самоорганизации оказывается поле взаимодействий между элементами, где образуются общее и частные поля *напряжений, неравномерность* которых и создает внутренние (для системы нового структурного уровня) стимулы и (или) движущие силы *формативных изменений*.

Для самых сложных процессов самоорганизации, например для эмбрионального развития организма высшего животного, характерны не только переходы от одного типа внутренних взаимодействий к другому (в том числе от преобладания кооперативных форм регулирования к ведущей роли управления, осуществляемого специализированными подсистемами и элементами), но также смены центральных непосредственных организаторов. Не вдаваясь в описание прямых и обратных изменений такого рода, мы должны еще раз подчеркнуть в данной связи необходимость дифференцированного — значит, и исторического — подхода к понятию самоорганизации. Это относится также и к изменениям той роли, которую играют в этих сложных процессах явления самоорганизации, принадлежащие к разным структурным уровням, т. е. самоорганизации целого и частей. Чем выше уровень организованности целого, тем более важную роль играют те или иные *сочетания* процессов самоорганизации частей и централизованного управления.

Рассмотрим некоторые особенности явлений такого рода, наблюдаемых в живой природе.

3. Единство централизованного управления и самоорганизации частей

Повышение и возникновение организации материальной системы, как мы отмечали, может происходить и не в порядке самосовершенствующегося процесса. Означает ли это, что мы приходим к отрицанию «самодвижения материи»? Напомним, что речь идет о конкретных видах материи, о конкретных формах самодвижения. Подобно тому как любая конкретная форма энергии может исчезать и, следовательно, отсутствовать, любая конкретная форма движения, изменения и развития может исчезать и отсутствовать или возникать заново там, где не было ничего качественно сходного с нею. Это относится и к организации, а следовательно, и к самоорганизации.

Но отсутствие последней может и не означать невозможность возникновения и повышения организованности данной материальной системы. Теоретически возможны и на деле известны многочисленные виды таких процессов, когда материалы (группы исходных и предварительно сконденсированных элементов, каждый из которых на своем уровне может обладать способностью к самоорганизации, но не оказывает организующие воздействия на соседей) либо практически лишены значимой способности к самоорганизации, либо не проявляют ее при данных условиях и на данном «макроуровне» в масштабах возникающей системы как целого.

Если организующие воздействия оказываются в таких случаях со стороны какой-нибудь высокоразвитой системы, то нередко централизованное управление приходится, действительно, доводить до каждого элемента или блока элементов. Наглядные примеры такого рода отношений дает техника. Строя здание современными способами, приходится доводить формативные воздействия до каждого кирпича (предварительно сделав его из глины, песка и других материалов), камня, балки и пр. Приходится управлять и каждым действием бригады людей и механизмов; необходима также определенная иерархия руководства коллективом строителей. Возникающая в результате пространственная структура здания (аналогично этому — функциональные структуры имеющих в нем машин), заранее представленная в техническом проекте, детальном плане, *навязывается* данным материалам извне.

В природе нет ни программ эволюции, ни проектов индивидуального развития организма в виде моделей-копий уменьшенного размера, которым оставалось бы только расти, как думали преформисты XVII—XVIII вв., а явления реальной преддетерминированности процессов и результатов развития сочетаются в процессах эволюции или онтогенеза с не менее бесспорными явлениями возникновения нового, эпигенеза. Однако до сих пор в соответствующих курсах и монографиях часто встречаются ясные высказывания о том, что в генотипе заключена — еще на стадии

зиготы — «вся» программа развития «всех» признаков иной раз сложнейшего многоклеточного организма, и что в ней запрограммированы даже отклонения от нормы. Такой взгляд основан, очевидно, на переоценке реальных возможностей централизованного управления миллиардами реакций в клетках, тканях и органах.

Потенциальная информационная емкость макромолекул нуклеиновых кислот, выполняющих функции основных материальных носителей генетической информации, практически не ограничивает *представимость* признаков организма и операций, необходимых для их формирования. Но известно, что в реальной совокупности структурных и регулирующих генов используется лишь очень малая часть этой потенциальной емкости. Не касаясь вопроса о причинах некоторой избыточности наличной генетической информации (надежность и пр.), отметим, что достаточными оказались только «сети переключателей» [2] действий факторов, тормозящих или стимулирующих тот или иной процесс формообразования, протекающий по типу самоорганизации частей. В самом деле, ведь каждая группа клеток, каждая живая клетка и даже каждая молекула живого тела на своем уровне обладает определенными способностями к самоорганизации; зачем программировать централизованное управление теми процессами, которые могут протекать «сами собой», по типу «самосовершенствующихся»? Так как на каждом структурном уровне существуют явления самоорганизации, отнюдь не требуется, чтобы абсолютно все программы всех «микродействий» каждого из элементов были заранее представлены в центральной исходной программе. На всем протяжении общих и частных процессов эмбрионального развития в них участвуют такие подсистемы и элементы нисходящих уровней, которые и сами обладают теми или иными формами саморегулирования и самоорганизации.

Вот это и есть тот *фундаментально упрощающий принцип*, без которого были бы невозможны не только прогрессивная эволюция и каждый цикл чрезвычайно ускоренного развития в зародышевый период, но и сама жизнь, требующая в основном комплексе биологических функций [8] согласованности огромных количеств химических и физиологических реакций в каждой клетке. Можно сказать, что в исходной программе достаточно предопределять способности частей к самоорганизации или вообще способы и нормы реагирования, а не результаты процессов формообразования непосредственно. Здесь эпигенез неотделим от преформации, а централизованная функция управления — от самоорганизации частей.

Это единство противоположных принципов формообразования ясно выражено уже на самых ранних этапах действия генов на биосинтез белковой основы каждого фермента, выполняющего затем функции частного непосредственного организатора биохимических процессов. В рибосомах белкам передается, как считают, лишь порядок расположения аминокислот в основной поли-

пептидной цепи, только «первичная» структура макромолекул. Между тем важнейшие свойства ферментов и ряда других белков зависят более всего не от первичной, а от более высоких по уровню (вторичной, третичной и т. д.) структур или от общей «конформации». Оставалось предположить лишь одно — что эти высшие для мира молекул непосредственные структуры (опосредованные структуры, информационные гиперструктуры, относятся к еще более высоким уровням биологической организации) возникают без *прямых* организующих воздействий генетического аппарата, т. е. в порядке самоорганизации. Теперь говорят о «самосборке» из готовой основной цепи или из ее фрагментов; к этому способны и сложные комплексы макромолекул (и даже вирусы).

Конечно, высшие химические структуры таких макромолекул предопределены — во всей серии последовательно развертывающихся усложнений — уже первичной структурой каждой из них. Но, во-первых, предопределены не полностью самим этим «внутренним»; так, расположение гидрофобных (отталкивающихся от воды) и гидрофильных радикалов при образовании белковой глобулы зависит также и от прямых взаимодействий этих радикалов с дипольными, электрически активными молекулами воды. Поэтому часть исходной преддетерминации должна быть отнесена на счет предсуществующих условий и факторов внешней (для данного образования) среды. У зародыша этому соответствуют влияния взаимодействий между клетками и органами, внутренние для организма в целом, но внешние для единичных клеток, тканей, закладок органов. Эти формативные воздействия среды не представлены в генотипе зиготы и всех клеток тела как в исходной, первичной для данного онтогенетического цикла основе; в ней могут быть запрограммированы не влияния среды, а только реакции на них. Во-вторых, зависимость высших структур макромолекул белка от информационной РНК оказывается непрямой, производной; эти *опосредованные* зависимости могут включать несколько последовательно усложняемых ступеней. Яркий пример такого рода отношений — развитие довольно сложного и дифференцированного организма высшего лишайника, образуемого, как известно, симбиозом *генетически обособленных* друг от друга организмов — синезеленых водорослей и гриба (этот пример был приведен ботаником на одном из устных обсуждений рассматриваемой темы).

Разумеется, именно в той мере, в какой результаты каждого нового этапа развития зависят от системной самоорганизации частей, а значит — от их собственных внутренних факторов и условий, велика и роль первичной, исходной для этих частей или для исходной клетки основы всего процесса индивидуального развития. Но суть дела в рассматриваемом отношении заключается в том, что каждая последующая ступень онтогенеза не представлена во всей своей специфичности в тех образованиях, которые

осуществляют регулирование и управление на *предыдущей* ступени. Да в этом и нет необходимости, поскольку существуют и самоорганизация частей, и формативные воздействия среды (постоянство и благоприятность которой могут обеспечивать своей деятельностью родительские поколения или вообще другие члены семейно-стадной группы, как это имеет место у млекопитающих, птиц и у многих групп насекомых).

Сказанное особенно наглядно иллюстрируется социальными явлениями, где роль самоорганизации частей более доступна прямому наблюдению. Предположим, составляется план действий большого воинского соединения (там централизация управления, заметим, должна быть максимальной из возможных для высокоорганизованных систем). Понятно, командующий не станет предписывать в этом плане общей операции все действия каждого подразделения или каждого солдата. А ведь для этого хватило бы и бумаги, и слов, и современных средств связи. Но в действительности на всех ступенях организованности материи процессы развития всегда сложнее, чем программы или планы, и общий первичный план или исходная программа операций целого (если она есть) может быть тем проще, чем более развиты способности подсистем и элементов к самоорганизации, в частности—к самоуправлению.

Так обстоит дело и в онтогенезе организма. Исходная для данного онтогенетического цикла программа включает алгоритмы операций и сигналы или команды отнюдь не для каждого из элементов нисходящих ступеней организованности, а только для ключевых звеньев и для отделов или элементов, способных к саморегулированию. Ясно, что общее количество информации в такой программе может быть гораздо меньше, чем если бы требовалась полная централизация управления. Техника все в большей мере приступает к использованию этого свойства материальных систем — например, управляющих автоматов и даже молекул, атомов, элементарных частиц и полей.

Использование самоорганизующихся подсистем и элементов создаст, таким образом, возможности повышать эффективность *регуляции и управления*. Идею усиления регулирования Эшби высказал [19], [20], имея в виду также и процессы индивидуального развития. Как при всяком усилении, усиливать организующие действия можно, по Эшби, только за счет каких-то ресурсов, накопленных в частях и освобождаемых при *относительно слабых* воздействиях, — в данном случае, очевидно, за счет сохранения и даже развития тех способностей к самоорганизации, которые были выработаны еще на ступени одноклеточных, а также на первых этапах возникновения самой жизни.

В данной связи необходимо и в теории онтогенеза обращать внимание на различия в соотношениях влияний внутреннего и внешнего, *в соотношениях эндогенной и экзогенной детерминации*. Жизнь — это такой «самосовершающийся» процесс, которому

присуще и самоуправление на всех уровнях биологической организации, но это *не полностью* самоуправляемый процесс. Детерминация извне может включать такие организующие воздействия, которые во многих процессах оказываются решающими. Но следует различать непосредственные и опосредованные организующие влияния среды, а в ней — более обширные и высокоорганизованные системы, чем сам данный организм. Это наглядно иллюстрируется примерами автомобиля и водителя или лошади и седока: вторые нередко лишь выполняют указания и приказы, отданные другими лицами, выражающими в свою очередь опосредованные или неосознанные тенденции еще более обширного коллектива или всего общества. Вместе с тем эти примеры доказывают необходимость дифференцированно подходить к понятию «движущей силы» того или иного процесса, отличая от этого понятия то, что относится к созданию определенной направленности; вторая, очевидно, бывает важнее для понимания природы процесса, чем его энергетическая основа. Приведенные примеры показывают, как на деле может осуществляться «самодвижение» при *ведущей* роли организующих (в частности, управляющих) воздействий *извне*. Конечно, в живой природе последние чаще всего опосредованы собственной активностью организма, как подчеркивал неоднократно Чарлз Дарвин; но ведущую роль в процессах биологической эволюции играет в главном естественный отбор, потому что именно он определяет ее главные направления.

В истории биологии правильное положение о том, что онтогенез и эволюция — это процессы самодвижения (в широком смысле слова), не раз противопоставлялось тоже правильному положению о ведущей роли среды («эволюция есть процесс эктогенетический»), причем признание внутренних источников и направляющих факторов активности организмов считалось несовместимым с первым и даже объявлялось идеалистическим. Но это признание может быть истолковано материалистически, и тогда оба эти положения не исключают, а дополняют одно другое. Они выражают в особенности необходимость диалектического единства централизованного системного управления и самоорганизации частей. Оба эти положения в их единстве требуют, очевидно, дальнейшей конкретизации категорий причинности и детерминизма.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Боголепов В. П. О состоянии и задачах развития общей теории организации. — «Организация и управление». М., 1968.
2. Боннер Дж. Молекулярная биология развития. М., 1967.
3. Веденов М. Ф., Кремянский В. И. О специфике биологических структур. — «Вопросы философии», 1965, № 1.
4. Веденов М. Ф., Кремянский В. И. Некоторые философские вопросы современной биологии. М., 1965.

5. Веденов М. Ф., Кремьянский В. И. Соотношения структуры и функции в живой природе. М., 1966.
6. Веденов М. Ф., Кремьянский В. И. Проблема взаимосвязи структурных уровней биосистем. — «Структурные уровни биосистем». М., 1967.
7. Веденов М. Ф., Кремьянский В. И. Специфика биологических структур. — «Структура и формы материи». М., 1967.
8. Веденов М. Ф., Кремьянский В. И. Биологические формы движения. (В печати.)
9. Збарский И. Б. Молекулярные механизмы регуляции биосинтеза белков и проблема развития. — «О сущности жизни». М., 1964.
10. Кедров Б. М. Предмет и взаимосвязь естественных наук. Изд. 2-е. М., 1967.
11. Кремьянский В. И. О методологии определения сущности жизни. — «О сущности жизни». М., 1964.
12. Кремьянский В. И. Возникновение организации материальных систем. — «Вопросы философии», 1967, № 3.
13. Кузнецов И. В. Принцип причинности и его роль в познании природы. — «Проблема причинности в современной физике». М., 1960.
14. Лефевр В. А. О самоорганизующихся и саморефлективных системах и их исследовании. — «Проблемы исследования систем и структур». М., 1965.
15. Малиновский А. А. Некоторые вопросы организации биологических систем. — «Организация и управление». М., 1968.
16. Овчинников Н. Ф. Материя. — «Философская энциклопедия», т. 3. М., 1964.
17. Овчинников Н. Ф. Принципы сохранения. М., 1967.
18. Урманцев Ю. А. Взаимовлияния в природе и аллелопатия. — «Физиолого-биохимические основы взаимного влияния растений в фитоценозе». М., 1966.
19. Эшби У. Росс. Схема усилителя умственных способностей. — «Автоматы». М., 1956.
20. Эшби У. Росс. Введение в кибернетику. М., 1959.
21. Эшби У. Росс. Принципы самоорганизации. — «Принципы самоорганизации». М., 1966.

СТЕПЕНЬ И ВЫСОТА ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ

М. И. СЕТРОВ

Знание степени и высоты организации систем имеет большое теоретическое и практическое значение. Этот вопрос тесно связан с определением понятия организации и проблемой критериев степени и высоты организованности. Авторы, исследующие данный круг вопросов ([7] [8] [14] [15] [40] [12] и др.), как правило, связывают проблему высоты организации систем с проблемой прогресса природы и общества. Основной трудностью здесь остается отыскание надежных критериев высоты организованности. Причем если одни считают, что можно найти какой-то общий критерий высоты организации [15], то другие отрицают такую возможность, утверждая, что критериев высоты организации вообще не существует [3] [19], а если они и существуют, то столь разнородны, что их нельзя свести к одному общему критерию [12] [13].

Одной из причин такого расхождения мнений в вопросе о критериях организованности является, как нам кажется, смешение понятий высоты и степени организации. Отражая меру организационного различия систем, они совпадают. Но эту меру они отражают с разной степенью абстрактности и общности. Более общим является понятие степени организованности. Это значит, что любые системы, отличающиеся по высоте организации, отличаются и по степени организованности, но не всякие системы, различимые по степени организованности, обнаруживают разную высоту организации. Степень организованности отражает количественный аспект различия в организации систем, а высота — качественный. В этом их самое общее и существенное несовпадение

Попытка разграничить понятия степени и высоты организации сделана В. Н. Беклемишевым [2] и М. И. Сетровым [21]. Однако здесь само различие между этими понятиями осталось нераскрытым. А. М. Миклин [13; стр. 93] считает неправомерным противопоставление степени и высоты организации и в своих работах их не различает. Между тем отождествление этих понятий приводит к массе недоразумений, особенно, когда высоту организации цыта-

ются определить при помощи критериев, отражающих лишь степень организованности систем.

Почти все авторы признают, что наиболее важными критериями высоты организации являются степень дифференциации и степень интеграции систем ([27] [22] [5] [24] [25] [7] [12] и др.). Однако имеется много таких примеров, когда сопоставление систем, имеющих явно различный уровень развития, обнаруживает неразличимость их по степени дифференциации и интеграции или даже приводит к прямо противоположному выводу (более высокоорганизованный объект оказывается менее дифференцированным и менее интегрированным, чем система, стоящая на более низкой ступени развития). Эти факты вызывают сомнение в надежности подобных критериев [11] [6] [14] [21]. Например, экспериментально подтверждено, что одноклеточная инфузория оказывается в большей степени дифференцированной и интегрированной, чем многоклеточная гидра, хотя последняя (как многоклеточный организм) стоит на более высокой ступени развития, чем первая. Это относится ко многим другим животным, а также к неорганическим системам различного уровня развития. Молекула вещества, например, занимает более высокую ступень организации, нежели составляющие ее атомы. Однако атом в большей степени дифференцирован в своих компонентах и более интегрирован (целостен), чем молекула.

Между тем, будучи ненадежным критерием высоты организации, единство дифференциации и интеграции в пределах однокачественного уровня (одноклеточная и многоклеточная организация; организменная и клеточная и т. д.) может иметь определенное значение как показатель степени организованности системы. Так, в пределах типа одноклеточных инфузория, будучи более организованной системой, чем амеба, обнаруживает большую степень дифференциации и интеграции. В то же время известно, что инфузория не имеет потенций для прогрессивного развития, что развитие многоклеточных берет начало от слабодифференцированных одноклеточных организмов. Это лишнее раз говорит о том, что высота (прогрессивность) и степень организации не одно и то же.

Как уже говорилось ранее, повышение высоты организованности связано с качественным преобразованием объекта, переходом на новый уровень, а степень организованности отражает лишь момент ее изменения в пределах одного качества (принципа, закона) организации, т. е. в количественном аспекте. Однако поскольку качественное преобразование неизбежно связано с количественными изменениями, то всякое изменение высоты организации, переход на новый качественный уровень связан с изменением степени организованности системы. Следовательно, изменение степени организованности системы связано с любым ее преобразованием, изменение же высоты организации — только с качественным переходом в новое состояние,

Из изложенного видно, что понятие высоты организованности связано с понятием уровня организации. Более высокоорганизованная система всегда занимает более высокий уровень организации. Поэтому для определения высоты организации необходимо выяснить содержание понятия уровня.

Понятие уровня в общем виде рассматривается как ступень качественного преобразования системы, организации в процессе ее развития ([23] [26] [1] [4] и др.). При этом обычно высшее рассматривается как целое, а низшее как его часть, т. е. ступени соотносятся в линейной пространственной иерархии. Однако системы разного уровня развития не всегда находятся в рамках пространственной иерархии, т. е. относятся друг к другу как часть к целому. Одноклеточный организм и соответственно высота организации простейших представляют собой более низкий уровень развития, чем уровень многоклеточных организмов. Однако эти системы не находятся в отношении пространственной иерархии. Поэтому критерий «иерархичности» недостаточен для определения различия высоты и уровня организации подобных объектов. Каждый уровень организации отличается от других присущими ему специфическими закономерностями. Но эта специфика еще не дает возможности подразделить системы по высоте их организации, поскольку опять-таки необходим критерий различения законов более высокого и законов менее высокого уровня организации.

Итак, выделение отдельных уровней и высоты организации в пределах линейной иерархии практически и теоретически не вызывает особых затруднений. Однако вопрос о критерии высоты организации систем, входящих в различные иерархические ряды, остается открытым. Здесь не помогает применение ни структурных критериев (дифференциация, сложность и интеграция, целостность), ни энергетических (поддержание энергетического баланса, расход энергии), ни экологических (степень приспособленности, адаптации), ни информационных (запас информации)*. Оказывается, что системы, стоящие на заведомо низшей ступени развития (некоторые одноклеточные), не уступают по всем этим критериям более высокоорганизованным системам (некоторым простейшим многоклеточным организмам). Притом сами эти критерии носят пока сугубо теоретический характер и не имеют практических приложений.

Исследование указанных критериев в применении к биологическим системам обнаруживает их относительность. И это понятно. Каждый из этих критериев отражает лишь какую-то одну сторону организации многогранной системы живого (структурную, энерге-

* Более подробное рассмотрение различных критериев см.: А. М. М и л и н. Проблема критериев высоты организации живых систем и ее философское значение (диссертация), Д., 1967.

тическую, экологическую и т. д.) и потому не может носить универсального и всеобщего характера. Именно поэтому признается необходимым прилагать весь комплекс основных критериев для определения степени организованности объекта (обычно говорится о высоте его организации). Однако вряд ли плодотворно пытаться дать полную характеристику организации на основе того или иного сочетания критериев организованности. Только критерий, отражающий действие всех других и вскрывающий тем самым общую основу любой организации, может дать ее общую характеристику. По нашему мнению, таким критерием является принцип актуализации функций [21]. Согласно этому принципу объект выступает как организованный лишь в том случае, если свойства его частей (элементов) проявляются как функции сохранения и развития этого объекта. При этом под функцией понимается такое отношение части к целому, когда часть служит сохранению и развитию целого. Поэтому чем больше свойств системы проявляются как ее функции, тем более организованной она оказывается. Знание количественного соотношения функциональных и «несвязанных» свойств системы дает возможность количественно определить степень ее организованности.

Принцип актуализации функций как критерий носит всеобщий характер, поскольку ни одна совокупность объектов не может быть признана организованной, пока не обнаружится функциональный характер свойств этих объектов относительно данной совокупности. Все остальные критерии выступают лишь в качестве моментов или сторон действия этого принципа. Так, дифференциация клеток организма (возникновение структурных различий) необходима в силу того, что каждая отдельная клетка не может одновременно выполнять несколько функций, зачастую прямо противоположных по своему назначению. Поэтому принцип актуализации (становления) функций находит выражение в дифференциации клеток, так что функциональные возможности, заложенные в яйцевой или вегетативной клетке, проявляются в полной мере. Это проявление функциональных возможностей клетки направлено на сохранение организма как целого и выполнение основной его функции сохранения вида. Дифференциация же становится необходимой основой другого процесса — структурной и физиологической интеграции организма. В интеграции принцип актуализации функций находит свое конечное выражение, так как именно этот процесс обеспечивает такую согласованность функционирования дифференцированных элементов системы, что поведение одного способствует (или по меньшей мере не затрудняет) выполнению функции другого, а поведение всех подчинено выполнению основной функции целого. Это же относится и ко всем другим критериям. Например, высота коэффициента полезного действия живых систем (энергетический критерий) объясняется свойством пирофосфатных связей АТФ накапливать, переносить

и разряжать химическую энергию в количествах, необходимых для сохранения и развития организма. Это значит, что свойства АТФ выступают как функции в системе организма, и чем больше свойств этих макромолекулярных подсистем проявляются как функции в отношении всей системы, тем более организованным в энергетическом плане оказывается организм как целое.

Здесь необходимо вновь подчеркнуть, что все отмеченные выше критерии, а также принцип актуализации функций могут быть применены в полном объеме лишь как меры *степени организованности*. Конечно, в силу того, что степень организованности является стороной высоты организации, измерение степени организованности будет в определенном смысле и измерением высоты организации. Однако для высоты организации это измерение всегда носит ограниченный характер. Для измерения степени организованности не столь существенны уровень и высота организации с точки зрения иерархической соподчиненности. Подсистема может обладать большей степенью организованности, чем система, в которую она входит, хотя сама система как уровень, как момент развития будет занимать более «высокое» положение и в этом смысле будет более высокоразвитой, высокоорганизованной системой. Понятие высоты организации отражает всегда переход на новую ступень развития и, следовательно, имеет «векторальный» характер, выражает направленность изменения систем. Понятие степени организованности в этом смысле совершенно индифферентно. Поэтому оно носит более широкий характер, а это значит, что по степени организованности могут быть сравнены системы с заведомо разной высотой организации, разного уровня развития. Машина, например, по степени организованности может быть сравнима с организмом, хотя очевидно, что эти системы принадлежат к совершенно различным уровням развития материальных явлений.

Понятия «степень организованности» и «высота организации» еще нередко отождествляются. Однако недифференцированность этих понятий не должна скрывать того факта, что они обладают в своем содержании как общностью, так и различием, причем различие оказывается существенным. Имея более общий характер, понятие степени организованности связано с общим принципом организации. «Элементарной единицей» организации является функция. Изменение количества функций элементов системы означает изменение степени ее организованности. При этом ясно, что, поскольку элементы могут иметь различное количество функций, само количество элементов (сложность и разнообразие системы) никак не отражает степени организованности. Однако функция функции рознь. Одно дело, положим, защитная функция хитинового покрова насекомых, и совсем другое — функция отдельных молекул хитина, обеспечивающих прочность этого покрова. Здесь на осуществление внешних функций организма (защитная функция и функция опоры) направлены функции систем различного уровня

организации (молекулярного, клеточного, тканевого). Поэтому само «качество» функции определяется высотой уровня системы, в которую входят элементы, обладающие этой функцией. Это значит, что для полной характеристики организации объекта необходимо знать не только степень его организованности, но и высоту уровня, который занимает данный объект.

Выделение основных уровней организации обычно не представляет особой трудности, поскольку они явно различаются по сложности. Однако вопрос о том, в чём преимущество одного уровня организации по сравнению с другими, оказывается менее ясным. Так как известные критерии (и в том числе принцип актуализации функций) не связаны непосредственно с качественными различиями отдельных уровней организации, то для решения указанной проблемы оказывается необходимым отыскание специальных критериев, т. е. критериев различий в организации между системами разных уровней. То, что такие различия существуют и не связаны непосредственно со степенью организованности отдельных систем, можно легко показать. Например, простейшие многоклеточные животные (а тем более растения) оказываются менее организованными, чем некоторые одноклеточные (например, ресничные). Это выражается в значительной дифференциации и сильной интеграции последних сравнительно с этими многоклеточными, например кишечнополостными. Эксперименты подтверждают, что многие одноклеточные сохраняют свою целостность в таких условиях, в которых указанные многоклеточные распадаются, перестают существовать*. Но самое интересное заключается в том, что, хотя при распаде таких многоклеточных животных организм, как таковой, погибает, из его отдельных частей (групп клеток) развивается (при подходящих условиях) несколько новых организмов, отчего вид данных животных не только не несет ущерба, но и пополняется новой популяцией, чего не происходит при распаде одноклеточных. Это как раз и свидетельствует о том, что степень организованности индивида еще не говорит об уровне развития вида, высота организации не совпадает со степенью организованности, а вместе с тем новый уровень развития (который и характеризует сравнительную высоту организации) всегда обладает организационным преимуществом, хотя эти преимущества не всегда легко обнаружить. Именно поэтому и необходимо отыскание надежных критериев организационного различия объектов, находящихся на разных уровнях развития.

Степень организованности, как было показано выше, зависит от того, насколько полно актуализированы функции элементов системы. Однако принцип актуализации функций ничего не говорит о том, какие условия определяют превращение свойств

* См. подробнее об этом: М. И. С е т р о в. О критерии организованности в биологии. — «Философские науки», 1967, № 1.

элементов в функции. Таким определяющим условием является соотношение устойчивости структур целого и лабильности их функций. Чем выше динамичность объекта, сохраняющего устойчивость своей структуры, тем больше возможностей для проявления элементами своих свойств и их функционализации. Эта тенденция хорошо прослеживается как в онтогенезе организмов, так и в их филогенетическом развитии. «Одним из основных выводов сравнительной физиологии, — пишет В. Н. Беклемишев, — является положение, что наибольшая интенсивность жизненного процесса и наибольшая эффективность организма возможны только при наибольшей степени гомеостазиса, зарегулированности внутренней среды организма» [2, стр. 24]. Поскольку «зарегулированность», гомеостатичность организма и означает сохранение устойчивости его структур, то данное обобщение как раз и обнаруживает зависимость между устойчивостью, интенсивностью и эффективностью организации живого. Эффективность есть внешнее выражение степени и высоты организации живой системы, определяемой соотношением устойчивости и динамичности ее структуры.

Анализ большого фактического материала* показывает, что в процессе филогенетического и онтогенетического развития живых организмов, являющегося повышением степени и высоты их организации, непрерывно растет устойчивость структур и лабильность их функций. Причем если на низших уровнях развития приспособление к изменяющейся среде осуществляется за счет высокой изменчивости структуры, при сохранении прежних функций, то на высших, наоборот, организм приспособляется путем изменения функций, опираясь на устойчивость своих структур. Лабильность в данном случае понимается именно как подвижность, изменчивость функций. Например, общеизвестна высокая изменчивость структуры микроорганизмов. Даже незначительное изменение температуры среды или среды питания ведет к резким преобразованиям структуры, проявляющимся в изменении внешней формы клетки, ее размера, изменении ферментативных систем, самого принципа питания и дыхания [17] [9]. Вместе с тем оказывается, что для столь изменчивых в структурном отношении существ характерна высокая устойчивость физиологических функций [18] [9].

Противоположная картина наблюдается у организмов, стоящих на более высокой ступени развития: здесь приспособление осуществляется путем изменения функции при сохранении той же структуры. Так, наиболее устойчивыми структурами высших организмов являются мышечная и нервная ткани. Но именно эти структуры и обладают, как писал Л. А. Орбели [16], беспредель-

* См.: М. И. С е т р о в. Принцип системности и его методологическая роль в биологии (диссертация). Л., 1966.

ной потенцией к смене функций и их совершенствованию. Рост лабильности функций при сохранении прежней структуры можно проследить на примере роста в филогенезе мультифункциональности (по А. Н. Северцову) конечностей животных.

Совершенно очевидно, что изменение соотношения устойчивости структуры и лабильности функций связано с принципом актуализации функций, но к нему не сводится. Если принцип актуализации функций отражает возможность функционализации свойств и необходимость такого процесса для возникновения и сохранения организации, то изменение соотношения устойчивости структуры и лабильности ее функций отражает направленность процесса организации на ее повышение, подъема на новый уровень. Иначе говоря, в первом случае проявляется тот факт, что свойство может иметь функцию, и чем больше свойств элемента обладают функцией, тем в большей степени организована система. Во втором же случае функциональность свойства выступает как само собой разумеющаяся, но высота организации определяется степенью разнообразия функций одного и того же свойства элемента (устойчивой структуры). Такой подход к высоте организации системы может быть назван *принципом лабилизации функций*. Под функцией здесь понимается не физиологический процесс (функционирование), а такое отношение части к целому, при котором часть служит сохранению функции целого. При этом структура, обладающая функцией, рассматривается как подсистема или элемент системы в целом. Неточность словоупотребления в данном случае связана с биологической терминологией, где отдельная ткань, например, называется структурой, хотя в строгом смысле относительно организма в целом она является подсистемой или элементом. Это объясняется также относительностью противопоставления элементов структуре, поскольку сами элементы обладают структурой, а любая структура выступает относительно системы более высокого порядка в качестве элемента. Конечно, желательно не допускать подобной терминологической неточности, но иногда ее трудно избежать.

Итак, высота организации систем в общем виде определяется тем, в какой степени актуализация функций осуществляется за счет изменения структуры (возникновение нового свойства и новой функции) и в какой степени — за счет увеличения у одной структуры множества функций, которые при изменении условий могут сменять друг друга. Чем более устойчива структура и более подвижна ее функция, тем выше организована система. Актуализация функций осуществляется в любом организационном процессе, но осуществляется она в отдельных случаях различным образом, и это позволяет отличить не только степень организованности (соотношение функциональных и нефункциональных свойств), но и высоту организации (соотношение моно- и полифункциональных свойств), зависящую от степени устойчивости структуры.

Различие между принципом актуализации функций и принципом их лабилизации по существу заключается в том, что первый принцип отражает основу всякой организованности и может служить критерием ее количественного изменения; второй же показывает, как функционирующая структура (элемент) совершенствуется благодаря способности сменять функцию или выполнять сразу несколько функций, не изменяясь при этом. Последний принцип, конечно, отражает и увеличение степени организованности системы, но вместе с тем он отражает и качественный момент, переход ее на новый уровень организации. Фактически дело заключается в том, что структура, переходя на новый уровень организации и включая в себя структуры (элементы) и, стало быть, свойства предыдущего уровня, оказывается способна через дифференциацию этих элементов проявить не одно, а множество свойств, которые также могут приобрести функцию. Функции могут при этом актуализоваться, но могут и не проявляться, поэтому степень организации системы нового уровня (целого) может оказаться даже ниже, чем у системы иерархически подчиненного уровня (элемента). Однако система нового уровня всегда обладает большими потенциями к более совершенной организации. В этом и заключается качественно новый уровень, «прогрессивность» и высота организации.

Здесь следует вновь подчеркнуть, что очень часто дифференциация действительно отражает степень и даже высоту организации, поскольку дифференциация в живой природе имеет целесообразный характер, т. е. свойства дифференцированных элементов так или иначе становятся функциями. Но наличие дифференциации (различия свойств) все-таки еще не означает, что эти свойства направлены на сохранение целого (функциональны). Поэтому в теоретическом плане степень дифференциации не отражает степень организации, поскольку можно создать очень сложную систему с очень дифференцированными элементами, однако совершенно дезорганизованную.

Интеграция в любом аспекте ее понимания (структурном или физиологическом), будучи процессом, противоположным дифференциации, снимает результаты последней, ограничивает их. Поэтому единство этих процессов также не отражает адекватно степень (и тем более высоту) организации. Только выяснив функциональность свойств всех структур, носят ли они интегративный или дифференцирующий характер, можно определить степень организованности системы. Например, структурная интеграция (олигомеризация) уменьшает количество элементов в системе и тем самым уменьшает возможности более широкой дифференциации. Но обычно процесс интеграции, например олигомеризация нервных узлов насекомых, приводит к объединению их в один более сложный нервный центр. Сложность системы в целом при этом уменьшается, а сложность соответствующего органа

увеличивается. Такое усложнение органа делает его более полифункциональным, что в свою очередь облегчает согласованность действия всех подсистем организма. В этом и заключается прогрессивность процесса интеграции. Однако здесь совершенство организации достигается за счет уменьшения ее возможностей в другом направлении, в направлении дифференциации, которая дает возможность частям организма проявить новые свойства и функции. Это значит, что единство процессов дифференциации и интеграции не аддитивно. Организация как целое, как единство дифференциации и интеграции оказывается меньше «суммы» ее составляющих, поскольку оба эти процесса нейтрализуют преимущества друг друга. И вместе с тем эти процессы не могут развиваться один без другого. Для интеграции необходимо разнообразие, которое можно интегрировать, объединить. Для дифференциации необходима согласованность проявления свойств как функций, иначе они теряют функциональный, целесообразный характер для системы в целом. Но интеграция всегда не просто «согласовывает» действие функционирующих свойств, но и ограничивает дифференцированность системы. Поэтому, будучи неаддитивным, единство интеграции и дифференциации не может отражать высоту организации: ведь новое усиление интеграции еще больше сужает возможности дифференциации. Это тем более верно, что практически (да и теоретически) невозможно выяснить, в какой степени интеграция ограничивает дифференциацию и в какой — способствует проявлению свойств дифференцированных элементов как функций. Только конкретное обнаружение функционального характера отдельных свойств элементов и структур дает возможность выяснить степень и высоту организации систем.

Увеличение интегрированности системы, проявляющейся в увеличении коррелятивных связей, делает структуру устойчивой, не способной к резким преобразованиям. Это делает систему менее лабильной в смысле смены структур и ее дифференциации, а значит, и уменьшает возможность возникновения новых функций, что в свою очередь уменьшает ее приспособительные возможности. Но усложнение интегрированных органов, согласование их поведения на основе интеграции позволяют приобрести функциональный характер тем свойствам элементов, которые в силу несогласованности своих проявлений не могли быть функциями относительно целого. Этим интеграция «перекрывает» нанесенный за счет ограничения дифференциации «ущерб», а сами функции делает более ценными для системы в целом, более направленными на поддержание ее основной функции. Следовательно, устойчивость структуры как результат интегрированности ее элементов, объединенных коррелятивными связями, создает условия для ее полифункциональности. Полифункциональность устойчивой структуры (элемента), как это было выяснено выше, отражает высоту ее организации (высоту организации целого). Поэтому здесь пред-

ставляется возможным дать определение понятию высоты организации: *организованность системы тем выше, чем выше устойчивость структуры ее элементов и лабильность их функций, направленных на сохранение специфических свойств и функций системы как целого.*

Таким образом, мы выявили основную единицу организации, ее «клеточку» — функцию, а затем установили отношение между функциями в процессе их актуализации и лабилизации. Это позволило охарактеризовать систему со стороны степени и высоты ее организованности. Однако для полноты характеристики системы необходимо установить не только форму ее внутренней организации, но и отношение ее к целостности более высокого порядка, что даст возможность определить и функции самой этой системы как целого. Только в этом случае будет понятен смысл и степень целесообразности всей внутренней организации объекта.

Основной функцией всякой системы является самосохранение, и это выражается принципом Ле-Шателье. У неорганических естественных систем сохранение системы обеспечивается механической прочностью связи между ее элементами. Для живых систем этот способ сохранения целостности также имеет определенное значение, но он как бы отодвигается на задний план (снимается) другим, в некотором смысле противоположным ему способом сохранения целостности — обратимой изменчивостью структур целого, изменением взаимосвязи между его элементами. Однако изменение структуры и для живого не есть самоцель — самоцелью является изменение функциональных свойств, непосредственно отражающих воздействие изменяющейся среды. Вообще обратимые изменения структуры возможны лишь в очень узких пределах. Поэтому такой способ смены функций (за счет изменения структуры) оказывается неперспективным и потому в процессе эволюции живого постепенно заменяется новым, в определенном смысле противоположным способом — увеличением устойчивости структуры и усилением ее полифункциональности. Здесь, как и в неорганических системах природы, целостность достигается за счет устойчивости связей между элементами, но уже на совершенно новой основе: устойчивость структуры обеспечивается подвижностью ее собственных функций, т. е. отношений к целостностям более высокого порядка. Эта подвижность функций элементов структур живого определяет возможность выполнения им его основной функции — функции сохранения в более сложной (разнообразной) среде.

Конечно, самосохранение организма не есть самоцель. Основной функцией индивида является сохранение, поддержание и развитие вида. Но поскольку все эти функции могут быть выполнены лишь при сохранении целостности индивида, то и функция его самосохранения внешне выступает как самоцель. Благодаря обнаружению основных функций организма становится понятна как направленность организации живого (функций его элементов и

структур), так и ее противоречивость, проявляющаяся в наличии, например, функций самосохранения и функций воспроизведения вида. Гармоничность соотношения этих противоположных, но взаимно необходимых функций обеспечивается непрерывным действием отбора. Именно поэтому повышение выживаемости индивидов автоматически ведет к снижению уровня рождаемости (воспроизведения). Такое повышение «экономичности и эффективности» живого [8] есть внешний показатель увеличения степени и высоты организации живых систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамова Н. Т. К определению понятия «уровень». Материалы конференции «Структурные уровни биосистемы». М., 1967.
2. Беклемишев В. Н. Об общих принципах организации жизни. — Бюллетень МОИП, отд. биологии, т. 69, вып. 2, 1964.
3. Боржеану К. О научном характере понятия «прогресс» — «Проблемы философии». М., 1960.
4. Веденов М. Ф., Кремянский В. И., Шаталов А. Т. Становление и конкретизация идеи структурных уровней в биологии. Материалы конференции «Структурные уровни биосистем». М., 1967.
5. Геккель Э. Естественная история миротворения. СПб., 1914.
6. Давиташвили Л. Ш. Очерки по истории учения об эволюционном прогрессе. М.—Л., 1956.
7. Завадский К. М. К пониманию прогресса в органической природе.—«Проблемы развития в природе и обществе». М.—Л., 1958.
8. Завадский К. М. Видообразование. — В. кн.: Берман З. И., Завадский К. М., Зеликман А. Л., Парамонов А. А., Полянский Ю. И. Современные проблемы современной теории. М.—Л. 1967.
9. Клюйвер А., Ван-Ниль К. Вклад микробов в биологию. М. 1959.
10. Мелешенко Ю. С. Технический прогресс и его закономерности. М.—Л., 1967.
11. Мечников И. И. Избранные биологические произведения. М., 1950.
12. Миклин А. М. К определению понятия прогрессивного развития живого. — Вестник ЛГУ, серия философии, № 5, вып. 1, 1967.
13. Миклин А. М. Проблема критериев высоты организации живых систем и ее философское значение. Диссертация. Л., 1967.
14. Молевич Е. Д. Прогрессивное развитие живой природы и его критерий. Свердловск, 1963.
15. Молевич Е. Д. К вопросу о критерии органического прогресса. — «Вопросы философии», № 8, 1965.
16. Орбели Л. А. Об эволюционном принципе в физиологии. — «Вопросы эволюционной физиологии». М.—Л., 1961.
17. Петрова Э. А. Морфология серных пурпурных бактерий. — «Микробиология», т. 28, № 6, 1959.
18. Разумовская З. Г. О виде у микроорганизмов.— Вестник ЛГУ, серия биологии, вып. 4, № 21, 1957.

19. Семенов Ю. Н. Общественный прогресс и социальная философия современной буржуазии. М., 1965.
20. Сетров М. И. Принцип системности и его методологическая роль в биологии. Автореф. дисс. Л., 1966.
21. Сетров М. И. О критерии организованности в биологии. — «Философские науки», № 1, 1967.
22. Спенсер Г. Основные начала. СПб., 1886.
23. Шеллинг Ф. Система трансцендентального идеализма. М., 1936.
24. Шмальгаузен И. И. Пути и закономерности эволюционного процесса. М., 1939.
25. Шмальгаузен И. И. Регуляция в индивидуальном развитии. М., 1964.
26. Bertalanffy L. von. Das biologische Weltbild. Bern, 1949.
27. Bronn H. Untersuchungen über die Entwicklungsgesetze der organischen Welt. Stuttgart, 1958.

НЕКОТОРЫЕ УСЛОВИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ПОДХОДА К ОРГАНИЗАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

К. М. ХАЙЛОВ

Одним из основных условий исследования биологических систем является четкое и конструктивное определение того, что представляет собой *организация* системы. Под конструктивностью мы понимаем перечисление в определении основных параметров организованных систем, доступных измерению и количественному выражению. Только количественный подход к биологическим системам может обеспечить их объективное сравнение друг с другом.

Сравнение биологических систем по «высоте», «уровню», «степени» организованности всегда считалось трудной проблемой. Она не решена до сих пор именно потому, что в живых системах долго не удавалось найти *измеряемые системные параметры* и названные выше понятия применялись чисто интуитивно, что не обеспечивало однозначности суждений. По этой причине очень многие биологи, включая, как известно, и Дарвина, вообще предпочитали не пользоваться ими. Однако в последнее время некоторые авторы, особенно философы [1] [2], стали применять понятия «высота», «уровень», «степень» организованности весьма широко, причем в той же чисто интуитивной манере.

Характерно, что в обсуждениях такого рода часто отсутствует развернутое определение того, что понимается под биологической системой, организация которой обсуждается. Между тем разное понимание биологической системы неизбежно ведет и к разному пониманию организации. Поэтому работы, в которых отсутствуют четкие определения, вряд ли значительно способствуют решению интересующей нас проблемы.

Цель настоящей статьи заключается, конечно, не в том, чтобы сразу решить задачу, не находящую решения уже несколько столетий; мы попытаемся осветить лишь некоторые условия ее более строгой постановки. В частности, будет сделана попытка рассмотреть связь определения и исчисления биологической организации с определением живой системы.

Функционально-организованная система. Ее рост и развитие

Систему очень часто определяют как множество элементов, взаимно связанных друг с другом в единое целое. Примем это определение в качестве *предварительного*, отметив, что в биологических объектах имеется несколько разных *типов* межэлементной связи — связь пространственная, временная, функциональная (физиологическая, биохимическая). Каждому из них соответствует особый тип системной организации. Чтобы упростить задачу, будем говорить в статье лишь о функциональной организации, имея в виду внутренние физиолого-биохимические связи между элементами биологических систем. Определения организации мы сейчас давать не будем, поскольку из дальнейшего станет ясно, что оно оказывается различным в зависимости от того, *как уточняется* приведенное предварительное определение системы.

Причиной всех рассуждений об «уровнях», «высоте» и «степени» организованности является необходимость объективно сравнивать разные организации, особенно в рамках эволюционного подхода. Так как различия в биологических системах возникают в процессе *изменения* систем, важно проследить хотя бы основные типы этих изменений. В биологических объектах это: 1) рост и 2) развитие. Примем, что развитие функциональной организации идет путем разделения функций между одинаковыми элементами (гомологами) и интеграции разнофункциональных элементов в полифункциональное целое нового, более «высокого» порядка. В соответствии с этим развитию должен предшествовать чисто количественный рост, т. е. увеличение числа одинаковых элементов-гомологов. Процесс увеличения количества элементов и их дифференциации с последующей интеграцией может быть выражен следующей схемой:

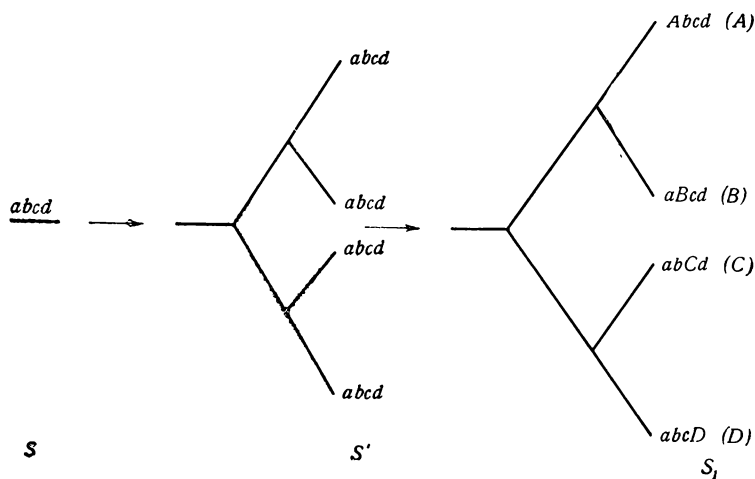


СХЕМА 1

Первый этап, предшествующий развитию системы, — увеличение количества одинаковых элементов $S \rightarrow S'$, чему в данном случае соответствует $abcd \rightarrow 4(abcd)$. На втором этапе, который, собственно, и является развитием, между четырьмя элементами $abcd$ происходит разделение функций. Этот процесс идет путем усиления у каждого элемента какой-либо одной из имеющихся у него нескольких функций, например $a \rightarrow A$, с соответствующим ослаблением остальных функций, скажем, функций bcd . В результате каждый элемент, в той или иной мере сохраняя (или утрачивая) свою полифункциональность, специализируется в основном на одной из функций. На схеме такая специализация элементов обозначена в виде $abcd \rightarrow abcD$ или просто $abcd \rightarrow D$. Между элементами, несущими разные функции, неизбежно возникают обоюдные связи — $(A \rightleftharpoons B)$, $(C \rightleftharpoons D)$. Возникают они и между парами элементов — $[(A \rightleftharpoons B) \rightleftharpoons (C \rightleftharpoons D)]$.

Из схемы 1 вытекает следующая дилемма: является ли рост изменением системы или таковым может быть названо лишь развитие, а рост следует признать «несистемным» изменением? Ответ на этот вопрос требует уточнения предварительного определения системы.

В самом деле, системой можно назвать:

а) любое множество связанных элементов безотносительно к их разнообразию; тогда образование типа S' есть особая система, отличная, скажем, от системы S , и, следовательно, изменения типа $S \rightarrow S'$ есть системные изменения;

б) множество функционально-связанных, т. е. непременно разнообразных элементов. Разнообразие становится в этом случае одним из параметров системы. При таком определении окажется, что только изменение типа $S' \rightarrow S_1$ ведет к образованию системы, следовательно, является системным, тогда как изменение типа $S \rightarrow S'$ несистемно.

В зависимости от понимания системы находится и понимание организации и ее изменений. В первом (а) случае трансформация $S \rightarrow S'$ должна быть названа изменением организации. Во втором случае изменением организации системы является лишь трансформация типа $S' \rightarrow S_1$.

Количество организации и степень организованности биологического объекта и его функциональной системы

По-видимому, имеет смысл различать понятия «количество организации» и «степень организованности». Легко убедиться, что количество организации и степень организованности одного и того же биологического объекта будут выражаться разными величинами в зависимости от того, какое понимание системы, (а) или (б), будет принято. Рассмотрим в этой связи

определение количества и степени организованности для функционально-сложного объекта, у которого все элементы специализированы на выполнении разных функций и нет избытка одинаковых элементов. Минимальная система такого рода состоит из двух элементов, связанных друг с другом обоюдными связями

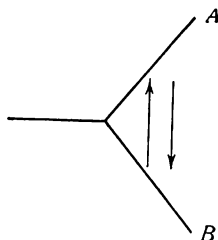


СХЕМА 2

Она является также минимальным количеством (единицей) функциональной организации. Количество организации можно выразить в единицах информации [3]

$$I = k \ln N!,$$

где N — число элементов в системе и k — постоянный коэффициент ($k = 1,443$). В таком случае количество организации в минимальной системе равно

$$I = 1,443 \ln 2! = 1,90 \text{ бит.}$$

Для системы, состоящей из четырех разнофункциональных элементов (например, S_1 на схеме 1), $I = 1,443 \ln 4! = 4,567$. Таким образом, определение общего количества организации в разных системах дает первую возможность их объективного сравнения друг с другом.

От количества организации в системе легко перейти к степени ее организованности. По своему смыслу понятие «степень» выражает количество организации в данной системе, отнесенное к одному элементу или к единице веса системы

$$I_{\text{уд}} = \frac{I}{N} \text{ или } I_{\text{уд}} = \frac{I}{P},$$

где N — количество элементов и P — вес системы. Введение степени организованности дает вторую возможность объективного сравнения различных организаций между собой. Например, степень организованности системы из двух элементов равна 0,5, а системы из четырех элементов — 1,14 бита на элемент.

Если при таком понимании системы нам встретится объект, у которого элементы каждого типа будут дублированы тремя гомологами, например

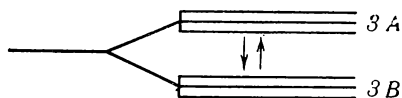


СХЕМА 3

то, следуя принятому определению, мы при расчете количества организации и степени организованности будем принимать во внимание только функционально разные элементы. В таком случае окажется, что объекты, показанные на схемах 2 и 3, имеют одинаковые количество и степень организованности, хотя общее число элементов у них различно — 2 и 6 соответственно.

Если же в основу аналогичного рассуждения будет положено другое определение системы (система — множество со связями безотносительно к разнообразию ее элементов), то при исчислении количества и степени организации тех же систем будут получены другие результаты: в системах на схемах 2 и 3 окажется разное количество организации и разная степень организованности, хотя их функциональная схема одинакова.

Таким образом, мы видим, что прежде чем делать какие-либо сопоставления организации живых систем по «степени», «высоте» или «уровню», необходимо совершенно точно условиться о понимании системы. Учитывая, что в теории систем принято систему отличать от агрегата (под агрегатом понимают множество элементов, никак не связанных друг с другом [4]), условимся считать, что *функционально организованная система — это множество элементов с функциональным разнообразием, равным единице* (т.е. каждому элементу соответствует особая функция). Основные параметры такой системы — количество элементов, количество межэлементных связей, количество организации и степень организованности. Все эти параметры измеряемы (хотя в некоторых системах это может оказаться весьма сложным). Приняв такое определение, приходим к выводу, что любой биологический объект с разнообразием ниже единицы, т.е. имеющий «избыток» тех или иных элементов, является одновременно и функционально сложной системой, и агрегатом. Как агрегат — он растет, как система — развивается.

Отсюда вытекает широко осознанная в системных исследованиях необходимость различать: 1) *объект* и организацию (быть может, «структуру»?) объекта и 2) *функциональную систему* этого объекта и ее организацию, рассчитывая соответственно количество и степень организованности системы и количество и степень организованности («структурированности»?) объекта.

Об «уровнях» организации

В последнее время в работах по организации биологических систем очень часто применяется понятие «уровень». Этот термин вошел в биологию очень давно, отражая интуитивно воспринимаемое различие систем по степени их организации. Он с успехом использовался тогда, когда предметом сравнения были системы явно различные, например одноклеточный и многоклеточный организмы. Понятие «уровень» отражало процесс развития жизни в макромасштабе.

Однако в связи с тем, что предметом внимания биологов становились все более близкие по организации индивиды и возникала необходимость их сопоставления друг с другом в плане организации («микромасштаб»), появилось более точное понятие степени организации. В принципе же понятия «уровень» организации и «степень» организации выполняют, по нашему мнению, одну задачу.

Странным образом тождественность этих понятий осталась незамеченной некоторыми исследователями, и термин «уровень» продолжает употребляться теми, кто склонен рассматривать организацию не на количественной, а на интуитивной основе. Действительно, авторы, использующие понятие «уровень» [1, 2, 5], не предлагают для его измерения никакой количественной меры, что существенно обесценивает результаты и приводит иногда к ошибочным выводам. В связи с этим рассмотрим соотношение понятий «степень» и «уровень» организованности несколько более подробно. Вернемся для этого к схеме 1, на которой показаны два основных типа изменений, свойственных биологическим объектам, — развитие и рост.

Совершенно очевидно, что отождествлять их друг с другом невозможно. Между тем частный случай роста — изменение, начинающееся с одного единственного гомолога, — внешне производит впечатление кардинального биологического события — изменения организации системы. Вероятно, под впечатлением этого внешнего сходства с повышением организации М. И. Сетров [2] выделяет частный тип изменений $A \rightarrow NA$ в особую группу, называя такие изменения переходом на новый уровень организации (это понятие он отличает от «степени» организованности; изменение степени организованности, по М. И. Сетрову, происходит в пределах одного уровня, т. е. по типу $S' \rightarrow S_1$ на нашей схеме 1). Однако такая точка зрения представляется уязвимой по меньшей мере по двум причинам.

Во-первых, трудно обосновать существование принципиальной разницы между изменениями $A \rightarrow NA$ и $MA \rightarrow NA$ при $N > M$. Во-вторых, при таком подходе системным изменением (изменением системной организации) признается увеличение количества гомологов и фактически получается, что изменение типа $S' \rightarrow S_1$ вообще не сопровождается никаким изменением количества орга-

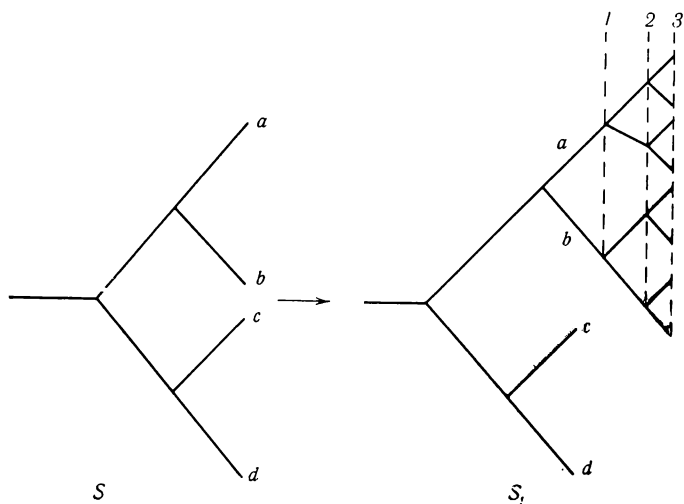
низации и степени организованности. В том, что последний вывод здесь действительно неизбежен, можно убедиться на следующем примере.

Будем рассматривать увеличение количества гомологов в объекте как простой рост — изменение агрегата гомологов. В таком случае количество организации в растущем агрегате ($S \rightarrow S'$ на схеме 1) не увеличивается вообще, так как системная организация объекта при этом не затрагивается. Напротив, на стадии $S' \rightarrow S_1$ количество организации возрастает с 1 до 4,567 бита, а степень организованности с 0,5 до 1,141 бита на элемент. При таком подходе практически реализуется принятая многими исследователями тенденция различать организованную и неорганизованную сложность (S_1 и S' в нашем случае).

Напротив, если бы мы рассматривали изменение типа $S \rightarrow S'$ как повышение уровня организации системы (точка зрения М. И. Сетрова), то получилось бы, что: 1) либо количество организации при этом не увеличивается (но тогда это не есть изменение организации), 2) либо количество организации увеличивается, в данном случае повышается до 4,567 бита, а степень организованности до 1,141 бита на элемент. В последнем случае оказалось бы, что на стадии $S' \rightarrow S_1$ никакого изменения количества организации и степени организованности не происходит вообще, так как у объекта S_1 они также равны 4,567 и 1,141 соответственно. Это явно ставит дело с ног на голову: в процессе количественного роста организация возрастает, а в процессе дифференциации и интеграции она остается неизменной.

Таким образом, мы приходим к выводу, что развитие биологической организации, т. е. повышение ее «уровня», и есть одновременно повышение «степени организованности». Представить себе повышение степени при одном и том же уровне или, наоборот, уровня при одной и той же степени — значит спутать рост агрегата и развитие системы.

При обсуждении схемы функциональной дифференциации и интеграции было отмечено, что каждый акт разделения функций может рассматриваться как новый уровень развития организации. В таком ограниченном применении этот термин вполне приемлем. Однако при попытке говорить об уровне организации целой системы возникает ряд затруднений, из которых удастся выйти лишь с помощью понятия «степень организованности». Сказанное можно проиллюстрировать примером. Пусть система S (схема 4) развивается асимметрично, т. е. так, что функции a и b многократно дифференцируются и организация этой части системы повышается на четыре «уровня» (на схеме отмечены цифрами 1, 2, 3). В то же время функции c и d не дифференцируются, и эта часть системы не развивается, оставаясь на прежнем уровне. Количество организации в такой системе равно 2,889 бита, а степень организованности 0,160 бит/элемент ($N = 18$).



СХЕМА

Пусть в другом случае развитие разных функциональных отделов системы (a , b , c и d) идет симметрично, так что организация везде повышается на три уровня (см. схему 5).

Количество организации в такой системе равно 2,771 бита, а степень организованности 0,173 бит/элемент ($N = 16$).

Если поставить вопрос о том, какая из двух систем выше по «уровню» организации, то в поисках критерия придется прибегнуть к степени организованности и окажется, что вторая система (схема 5) более организована, т. е. выше по «уровню». Но если определить степень организованности, то можно сравнивать системы и без помощи понятия «уровень», которое при наличии количественной меры становится излишним. Разумеется, в тех случаях, когда исчисление количества, а следовательно, и степени организованности невозможно по тем или иным причинам (или не нужно в силу очевидного различия организаций), термин «уровень» вполне уместен.

* * *

Высказанные соображения показывают, что проблема сопоставления разных биологических организаций слишком сложна, чтобы решать ее в интуитивной форме, уместной в ранней биологии, но непригодной при возможности количественного подхода. Главные и, по нашему мнению, обязательные условия объективного анализа биологической организации — это, во-первых, строгое определение системы, и, во-вторых, нахождение ее основных изме-

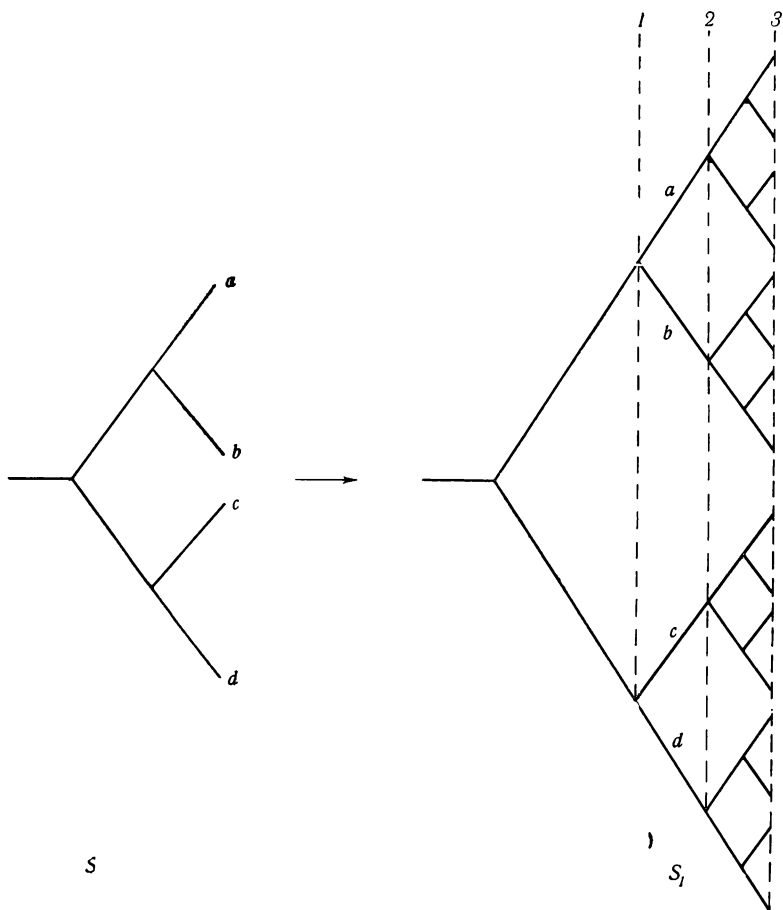


СХЕМА 5

ряемых параметров. Несоблюдение этих условий может существенно задержать исследование биологической организации и даже направить его по неблагоприятному пути.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веденов М. Ф., Кремьянский В. И., Шаталов А. Т. Становление и конкретизация идеи структурных уровней в биологии. Материалы конференции «Структурные уровни биосистем». М., 1967.
2. Сетров М. И. О критерии организованности в биологии. — «Философские науки», № 1, 1967.
3. Margalef R. Information Theory in Ecology. — «General Systems», v. 3, 1958.
4. Щедровицкий Г. П. Проблемы методологии системного исследования. М., 1964.
5. Веденов М. Ф., Кремьянский В. И. Соотношения структуры и функции в живой природе. М., 1966.

«СОЗНАНИЕ», «САМОСОЗНАНИЕ» И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Д. А. ПОСПЕЛОВ

Когда на современной вычислительной машине реализуется программа и в процессе реализации программы в некоторый момент времени выдается на печать все содержимое памяти машины, то анализ этих данных приводит к парадоксальному на первый взгляд выводу, что анализирующий не может определить характера программы, реализуемой машиной, не может осмыслить содержание ее действий. Происходит это потому, что такие различные по своему характеру задачи, как, например, анализ текста литературного произведения, сочинение музыки, составление таблицы функции или доказательство теорем, будучи запрограммированы и введены в машину, полностью теряют всю свою специфику и выполняются машиной одинаково в соответствии с заложенной в нее жесткой интерпретацией любой машинной команды. Это приводит к существенному ограничению возможностей вычислительных машин, к их неспособности совершать истинно эвристическую деятельность (подробнее этот аспект проблемы рассмотрен в [11]).

Единственной возможностью расширения способностей машины к решению творческих задач, адаптации в неисследованной среде, самоорганизации и т. д. является создание внутри нее семиотической системы ее внешнего мира (например, мира задач). Окружающий машину мир обладает определенной структурой, представляет из себя совокупность объектов, связанных между собой сложными системами связей. Этот мир может обладать динамикой, в нем могут реализоваться различные детерминированные или вероятностные закономерности. Сложность отображения этого мира в памяти машины связана с необходимостью отображения его структуры, его динамики и законов взаимодействия мира с машиной. При этом предметом дальнейшего исследования в машине является каким-то образом сформированная модель мира, адекватная ему с точки зрения системно-структурного подхода.

В нашей статье [10] описана общая структура машины (названной гириоматом), в которой реализуется отображение структурно-системной модели внешнего машинного мира. В настоящей

работе мы покажем преимущества гиromатов по сравнению с обычными вычислительными машинами, в которых полностью игнорируется анализ исходной задачи из-за отсутствия средств для такого анализа. Это преимущество будет продемонстрировано на примере таких категорий, как «сознание» и «самосознание», интерпретированных для обычных вычислительных машин и гиromатов.

Принципиальное отличие гиromата от существующих вычислительных машин состоит в том, что в процессе своего функционирования гиromат строит в своей памяти модель окружающей среды и синтезирует программу действий в соответствии с заложенными в него целями, сообразуясь с этой моделью. Кроме того, в модели отражен сам гиromат, вся его структура и все известные из опыта функционирования в данной среде взаимоотношения между ним и средой. Это дает гиromату возможность анализировать не только мир, в котором он функционирует, но и свое функционирование в этом мире.

Будем в дальнейшем условно называть «сознанием» гиromата его свойство отображать внешнюю среду в своей памяти и анализировать закономерности этой среды и результаты своих воздействий на среду. Под «самосознанием» гиromата будем условно понимать его свойство отображать себя в модели среды и анализировать закономерности воздействия среды на свою структуру и функционирование.

Основой моделей сознания и самосознания гиromата служит специальный модельный язык, позволяющий имеющимися в нем средствами отображать структурно-функциональные взаимоотношения в среде, гиromате и между средой и гиromатом. Общие принципы построения такого языка изложены в [6]. С помощью модельного языка в памяти гиromата строится система моделей, связанных между собой сложными функциональными связями. На рисунке показана огрубленная схема данной системы моделей и связей между ними (более подробное описание структуры отдельных моделей, относящихся к группе моделей сознания, содержится в работе [10]).

Дадим краткие пояснения по функционированию системы моделей гиromата. Источником информации для гиromата служит вход от внешней среды, по которому в модель ситуаций (1) поступают сигналы от внешних органов чувств гиromата, и вход от некоторой части устройств самого гиromата (от датчиков на этих устройствах, играющих роль внутренних органов чувств гиromата). Сигналы от внутренних органов чувств поступают на модель структуры гиromата (8), которая сама представляет собой совокупность моделей со структурой, подобной структуре моделей сознания на рисунке. Сигналы, поступающие по любому из этих входов, являются структурированными сигналами, а не кодовыми идентификаторами, как это принято в обычных вычислительных машинах.

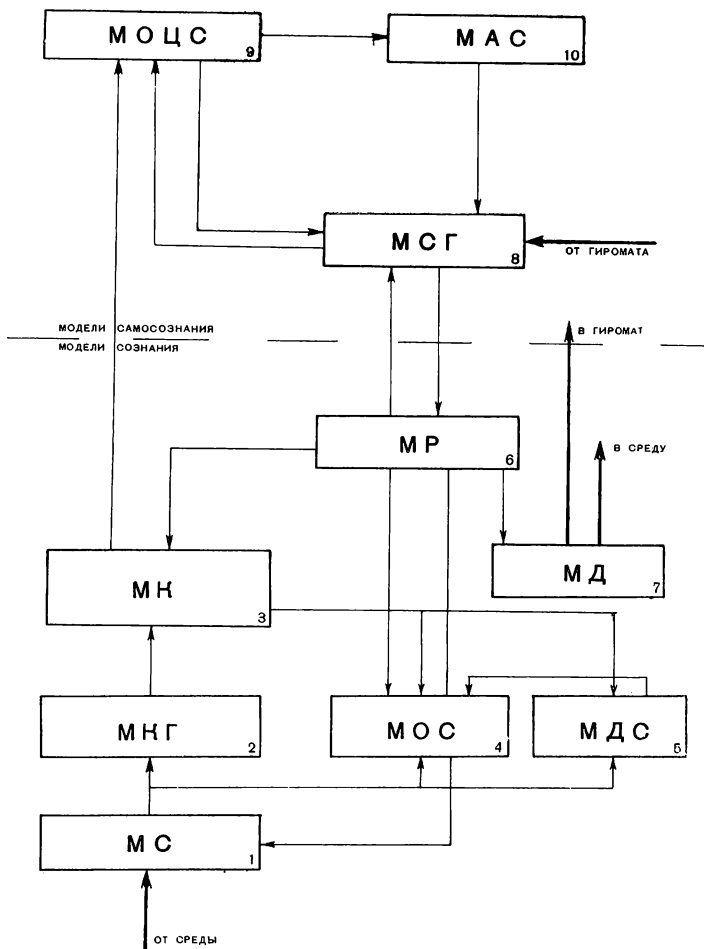


Рис. 1.

Структурированность сигналов означает, что они представляют собой семиотический знак, смыслом которого служит их структура. Принцип такого кодирования информации реализуется с помощью средств модельного языка и описан подробно в [5].

Благодаря тому, что внешние сигналы обладают структурой, становится возможным в модели ситуаций (1) и модели структуры гиromата (8) в каждый фиксированный момент жизни устройства иметь «фотографию» текущей структуры среды и структуры гиromата. Поясним, что мы понимаем под термином «текущая структура». Модельный язык в качестве средств описания использует два множества: множество базовых понятий $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ и мно-

жество базовых отношений $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$. Рассмотрим множество всевозможных пар понятий $A^2 = \{(a_i, a_j)\}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$. Зададим m отображений $\varphi_i r_i$ на A^2 , каждое из которых однозначно соответствует некоторому r_i . Будем допускать пустые отображения, когда r_i не сопоставляется ни одного элемента A^2 . Совокупность R, A^2 и $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$ мы и будем называть текущей структурой. Геометрически текущая структура есть мультиграф с n вершинами, дуги которого раскрашены m различными цветами.

В каждый момент времени в моделях (1) и (8) фиксируются текущие состояния среды и гиромата.

В процессе накопления жизненного опыта гиромат с помощью модели кратковременных гипотез формирует некоторые устойчивые закономерности, обнаруживаемые им в окружающей среде и в своей структуре. Эти гипотезы относятся к устойчивости отображений φ_i , скорости и частоте их смены. Для сознания гиромата модель гипотез есть модель (2), для самосознания она аналогична и на рисунке 1 включена в модель (8).

Накопленный опыт фиксируется в гиромате с помощью специальной классификационной модели (3) (аналог ее имеется в (8)). Эта модель имеет сложную иерархическую структуру и способна реализовать такие операции, как обобщение и абстрагирование. Ее функционирование описано в работе [6]. Несколько ниже мы проанализируем некоторые трудности, возникающие при работе с этой моделью.

Операции обобщения и абстрагирования позволяют гиромату оперировать более крупными единицами, чем базовые понятия или базовые отношения. По алгоритмам, описанным в [5], в модели классификации вырабатываются обобщенные понятия и обобщенные отношения, что позволяет сформировать модель обобщенных ситуаций (4) (в (8) есть аналог (4)). На основе модели классификации и модели обобщенных ситуаций в гиромате возможно производить экстраполяцию на будущее на основе текущего состояния в моделях (1) или (8). Для этой цели служит специальная модель динамики ситуаций (5) и ее аналог в модели (8). Принципы организации процесса экстраполяции описаны в [2].

В модели оценки ситуаций (9) в процессе функционирования гиромата формируются субъективные оценки обобщенных ситуаций с точки зрения модели (8). Поэтому при принятии решений в модели решений (6) учитываются данные, поступающие из модели (9). После принятия решения о воздействии на внешнюю среду или по изменению структуры гиромата эти решения актуализируются с помощью модели действий (7).

Если в среде помимо гиромата функционируют другие устройства, интересы которых пересекаются с интересами гиромата, то возникает конфликтная ситуация, и гиромат при выработке своих решений вынужден учитывать возможные действия других актив-

ных устройств. В этом случае гиромат использует специальную модель активной среды, в которой рефлексивно отражает возможные действия своих конкурентов и схему их рассуждений при принятии решений. Более подробно эта проблема рассматривалась в [8].

Перейдем теперь к сравнению возможностей устройств типа гироматов и современных вычислительных машин. В работе [7] делается попытка использования понятий и идей логики для уточнения термина «вычислительная машина». На основе анализа принципа функционирования современных вычислительных машин авторы работы приходят к выводу, что «математические машины суть интерпретированные системы физических объектов» [7, стр.133]. При этом в качестве интерпретатора системы должен выступать человек (программист), без которого вычислительная машина превращается в «бессмысленный набор электронных приборов» [7, стр. 131]. Если бы удалось формализовать класс объектов, называемых вычислительными машинами, то их можно было бы рассматривать как формальные системы математической логики, не обладающие интерпретацией. В начале данной работы по существу говорилось о том же.

В отличие от таких машин устройства типа гироматов могут сами интерпретировать свою структуру и свое функционирование на уровне тех сведений о среде и своей структуре, которые они могут получить с помощью своей конструкции, соотносясь с заложенными в них целями. В этом смысле мы можем говорить о том, что существующие вычислительные машины не обладают сознанием (интерпретацией среды и своих действий в ней) и самосознанием (интерпретацией своей структуры и воздействия среды на нее).

В работе [9] было показано, что при отсутствии в машинах свойства сознания становится затруднительным, а в ряде случаев практически невозможным решение на вычислительных машинах задач типа диспетчеризации; аналогичные трудности возникают при решении на машинах такого типа задач, в которых интерпретация играет основополагающую роль (например, при решении шахматных задач). При сравнении поведения человека и вычислительной машины в случае решения задач такого типа ярко проявляется различие в их подходе к организации процесса поиска решения. Интересно, что при использовании для подобных задач гироматных программ (например, программы для игры «5», описанной Ю. И. Клыковым и Т. К. Рыбаковой [4]) это различие фактически исчезает, что, по-видимому, может служить некоторым косвенным доводом об аналогии процессов, происходящих в гиромате и у человека при решении подобных задач.

Однако в отличие от вычислительной машины обычного типа гиромат существенно хуже решает задачи, в которых интерпретация не играет большой роли в процессе решения (например,

чисто вычислительные задачи). В этих случаях он, как, впрочем, и человек, проигрывает обычной вычислительной машине.

При создании системы моделей гиромата возникает ряд специфических трудностей, не встающих при конструировании вычислительных машин. Большинство из них относится к структуре модельного языка. В частности, трудно преодолимой является проблема исключения в модельном языке неэкстенциональных контекстов [3]. Определенные трудности возникают и при употреблении в модельном языке пустых имен или единичных отрицательных высказываний существования [13]. Эти проблемы возникают не на уровне модели ситуаций (1), а на уровне модели классификации (3), ибо на уровне модели ситуаций возможно создание такого псевдофизического языка (языка вещей), в котором подобные трудности не имеют места. Контуры подобного языка даны в [12]. Некоторые соображения в направлении преодоления такого рода трудностей имеются в [1]. Фактически указанные трудности на уровне классификационной модели до настоящего времени еще не преодолены.

Отсутствие самосознания в современных вычислительных машинах существенно затрудняет процесс оптимального использования оборудования машины (эта проблема для таких суперсистем, как СТРЕТЧ или 1971, становится самой важной) и процесс обнаружения неисправностей в работе отдельных блоков машины. С помощью программы гироматного типа, обладающей самосознанием, эта трудность может быть преодолена.

Таким образом, с большой долей уверенности можно утверждать, что путь создания вычислительных и особенно логико-информационных систем будущего — это путь создания машин, обладающих сознанием и самосознанием в рассмотренном выше смысле, и лишь на таком пути структурно-системного исследования возможно добиться от вычислительных машин решения тех задач, которые ставит перед ними развитие человеческого общества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войшвилло Е. К. Понятие. М., 1967.
2. Железов Ж. Й. Дискретные ситуационные сети и некоторые вопросы управления на них. Дисс. М., 1967.
3. Карнап Р. Значение и необходимость. М., 1959.
4. Клыков Ю. И., Рыбакова Т. К. Модель решения игры «5». — «Доклады НТК по итогам НИР за 1966—1967 гг. Подсекция применения средств вычислительной техники». М., 1967, стр. 68—77.
5. Клыков Ю. И. Модельный метод управления динамическими ситуационными системами. Дисс. М., 1967.
6. Клыков Ю. И., Поспелов Д. А. Модель отображения ситуаций в мозгу человека. — «Основные подходы к моделированию психики и эвристическому программированию». М., 1968, стр. 254—264.

7. Козмидиadi В. А., Чернявский В. С. О некоторых понятиях теории математических машин. — «Вопросы теории математических машин», вып. 2. М., 1962, стр. 128—143.
8. Лефевр В. А. Конфликтующие структуры. М., 1967.
9. Поспелов Д. А. Методы решения логических задач типа диспетчеризации на ЭВМ. — «Труды МЭИ», вып. 69, 1967, стр. 48—53.
10. Поспелов Д. А. Решение задач оперативного управления с помощью системы моделей. — «XVIII Международный психологический конгресс. Симпозиум 25». М., 1966, стр. 108—113.
11. Поспелов Д. А., Пушкин В. Н., Садовский В. Н. Эвристическое программирование и эвристика как наука. — «Вопросы философии», № 7, 1967, стр. 45—56.
12. Рвачев Л. А. Математика и семантика. Киев, 1966.
13. Смирнова Е. Д., Таванец П. В. Семантика в логике. — «Логическая семантика и модальная логика». М., 1967, стр. 3—53.

ОБУЧЕНИЕ МЫШЛЕНИЮ *

ГОРДОН ПАСК

В моем докладе на настоящем симпозиуме [1] изложены весьма радикальные и, возможно, идиосинкразические взгляды на обучение. Согласно одному из развиваемых тезисов, все основные виды обучения влекут за собой целенаправленные изменения или создание управляющих систем, т. е. некоторых множеств обратных связей, которые имеют место внутри организма или проходят через него. Обучение мышлению, главным образом интересующее нас на заседании этой секции, происходит на основе объектного языка (используемого обучаемым и описываемого на мета-языке экспериментатора). Объектный язык, в дополнение к обычному требованию к языку, чтобы его выражения представляли высказывания, служит средством выражения нормативных правил и команд. Этот объектный язык (система символов, если угодно) обучаемые используют для связи между собой. Каждый обучаемый пользуется им при формировании восприятия и действия, а также для абстрактного описания и формирования понятий — такое описание является моделью в смысле Минского [2]. Объектный язык используется экспериментатором для общения и взаимодействия с одним или несколькими обучаемыми.

Приучение и адаптация могут происходить и при отсутствии управления или абстракции, или какой-нибудь разновидности только что упоминавшегося объектного языка. Эшби [3] проанализировал этот вопрос. Мне хотелось бы особо подчеркнуть, что обучение в противоположность адаптации действительно включает все указанные факторы, в особенности обучение животных и искусственных устройств, обладающих мыслительными особенностями.

Если принять эту точку зрения, мы не можем говорить о мышлении *т*, что «*т* обучается», не уточняя наше отношение к *т*,

* Gordon Pask. Intelligent learning. В основание статьи положено сообщение Г. Паска на симпозиуме по бионике (Дайтон, штат Огайо, 1966) — в секции по проблемам искусственного разума. Перевод Б. Г. Юдина с рукописи.

отношение между t и его собратьями в популяции M , состоящей из различных t , и не рассматривая предложений, которые t может строить и воспринимать.

Про обучение *можно* говорить, например, когда я так связан с t , что « t обучается и я обучаю t », или когда t и я сопоставлены в другой определенной ситуации. Маккаллоу и Блюм исследуют в настоящее время отношения такого типа.

Вероятно, самое меньшее, что нам может потребоваться от способного мыслить t , это то, чтобы оно было в состоянии воспринимать и приводить в действие нормативные предписания или правила поведения. В ограниченном смысле t должно быть способно воспринять команду на достижение состояния» (т. е. команду «прийти к некоторому положению дел» или достигнуть некоторой цели G , используя определенные предварительные условия P). Добавим к этому требование, что отдельное t_i из M также способно предписывать нормы или давать команды, которые воспринимаются по крайней мере в некоторых случаях другим t_j из M .

Первое следствие сформулированной концепции заключается в том, что любое t_i , удовлетворяющее нашим требованиям, должно быть управляющей системой, способной наметить различные цели G , выполнимые при тех или иных P . Другое следствие: t_i должно быть способно к общению на языке, который позволяет транслировать предложения, содержащие нормативные предписания и команды. Это совсем не тривиальное условие, в чем мы можем убедиться при исследовании логического характера нормативных предписаний и команд (деонтическая логика обязанностей и норм, разработанная фон Райтом [4], и специальная логика команд, недавно описанная Решером [5]).

При построении своей деонтической логики фон Райт сначала ввел в пропозициональную логику оператор изменения события; затем он ввел операторы, характеризующие того или иного индивида (индивида t_i или человека), когда он действует или воздерживается от действия. На этой основе фон Райт смог построить логику действия. В дальнейшем, заложив основы логики норм, он специально рассмотрел понятия обязанности и разрешения, которые определяют характер нормативного правила, и ввел эти понятия в логику действия. Следовательно, для того чтобы пользоваться нормами и говорить о них, нужна достаточно разработанная логическая основа. Подобный логический аппарат необходимо было сконструировать Решеру для рассмотрения команд. Любая команда дается кому-либо в некоторый момент и выполняется в течение определенного интервала времени. Команда на «достижение состояния», интерпретированная с учетом этого, является предписанием из класса программ управления, пригодным для достижения цели G при данных предварительных условиях P . (Этот тип команд не определяет, как должна быть достигнута цель G ;

в этом отношении они отличаются от «команд действия», которые указывают тот или иной метод.)

Следовательно, m_i (если оно удовлетворяет нашим требованиям) является системой, в которой запрограммированные высказывания — программы указанного типа интерпретируются и используются для выбора или конструирования подходящей программы. Эта программа вводится в вычислительное устройство, где она может быть выполнена. Таким образом, m_i действует как система управления. Конечно, оно является к тому же иерархически организованной управляющей системой. Трудно понять, как m_i может воспринять предписания, скажем, от экспериментатора, пока у него отсутствует внутреннее описание экспериментатора и самого себя. Настаивая на том, что m_i и M должно быть способно также подавать команды m_j из M , мы тем самым утверждаем, что необходимо наличие внутреннего множества описаний.

Объектный язык, используемый для связи с m_i или между m_i из M , должен быть такого типа, который мы обычно называем «разговорным». Поскольку он должен быть достаточно богатым, он будет страдать от двусмысленностей значения и отнесения, которые Горн [6] назвал «прагматическими двусмысленностями». Если мы, как экспериментаторы, обеспокоены тем, как избежать двусмысленностей значения и отнесения, то нам необходимо заменить этот незамкнутый, обладающий средствами отнесения к самому себе разговорный язык достаточно богатой системой, содержащей множество слоев формальных языков. В пределах такой системы уровни рассуждения соответствуют уровням иерархии управления. Следует отметить, что иерархичность такого языка представляет собой просто формальное условие, которое мы налагаем на систему в наших собственных интересах; m_i может вступать с m_j из той же популяции M в интеллектуальные отношения и без такой иерархии языков. m_i в состоянии пользоваться отнесенным к самому себе разговорным языком, так же как и мы пользуемся им, потому что обычно ни m_i , ни нас с вами на практике не вводят в заблуждение логические парадоксы.

В дополнение к предварительным условиям P акт подачи команды включает ряд более элементарных предварительных условий, которые определяют, будет ли приемлема для m_i команда «достигнуть G при заданных P ». Некоторые из этих элементарных предварительных условий вполне очевидны. Для m_i не может быть приемлемой наша команда поднять объект, если m_i не имеет рук и не может создать их. Не может быть приемлемой для него и наша противоречивая команда или выдача неавторитетной команды (т. е. когда наш образец, имеющийся у m_i , недостаточен для определения нашего доминирования над ним). Однако вполне приемлема выдача m_i -ому команды «достигнуть G при заданных P », даже если m_i не может выполнить команду в момент ее выдачи

из-за того, что ему не хватает тестов восприятия для P или тестов отношения для достижения G . Ведь в этом случае m_i в состоянии проинтерпретировать класс тестов восприятия или отношения, необходимых для выполнения команды; более того, m_i может быть способно сконструировать эти тесты (или сконструировать необходимые операции).

Я полагаю, что обучение мышлению для m_i происходит тогда, когда m_i дается приемлемая команда и m_i не в состоянии выполнить ее из-за одного или более затруднений только что указанного типа. m_i обучается мыслить всякий раз, когда преодолевает такие затруднения, конструируя P -тесты, G -тесты или операции, которые могут быть или предписаны внутренним кодом, или явно определены на основании собственного опыта. Эти процессы конструирования обычно влекут за собой абстрактное описание образований, которые являются понятиями или выполняют функции таковых; преобразование понятий при помощи ассоциации и аналогии; усовершенствование и реорганизацию их. С одной стороны, здесь имеет место обучение посредством интуиции. С другой стороны, мы могли бы рассматривать любой выбор, основывающийся на той или иной разновидности направленного поиска в пределах набора программ предписанного класса как обучение мышлению. Ненаправленный поиск или случайный выбор в таком случае был бы не более чем адаптацией.

Что касается интуитивного обучения, то оно склоняет нас вспомнить, что организмы, обладающие такой способностью, имеют некоторые механические отличия от вычислительной машины (даже если их организация и очень близка к организации вычислительной программы). В той мере, в какой дело касается оперативной и кратковременной памяти, почти всегда существуют определенные ограничения, накладываемые используемым вычислительным и запоминающим устройствами. В течение данного интервала времени устройство не может выполнить все программы, которые логически возможны за это время. Многие двусмысленности, имеющиеся в предписанной стратегии, снимаются практически благодаря механическим особенностям системы; выбор того или иного способа действий зависит просто от применяемого оборудования (или, как в [1], от того, какие вычислительные структуры могут сохраняться). Возможно, что по крайней мере некоторые из странных частичных аналогий интуиции, названных Кестлером [8] «биссоциациями» в противоположность «ассоциациям», имеют место, когда прагматическая двусмысленность, присущая умело составленным стратегиям, снимается скорее благодаря механическим, чем логическим ограничениям, наложенным на систему. Искусственный разум также может проявлять «интуицию» такого рода, если он подвержен механическим ограничениям, налагаемым на его «материал» или физическое воплощение. Форма интуиции будет, однако, зависеть от типа этих ограничений.

Обучение мышлению имеет место тогда, когда m_i исправляет свои недостатки как система, способная реагировать на приемлемую команду, подаваемую ей экспериментатором. Аналогично m_j может обучаться, когда оно подобным же образом относится к m_i . Возможно, наиболее важное множество условий, при которых m_i и m_j из одной популяции M вступают в такие отношения, состоит в том, что первоначальные цели у m_i и m_j частично не совпадают, но они проживают в такой среде, где им выгодно кооперация. Такие потенциально кооперативные среды рассматривались фон Фёрстером [9] и другими [10]. Для того чтобы кооперация была реальной *, а не только потенциальной, необходима прежде всего коммуникация между членами популяции, аналогичная речевому общению. Можно утверждать, что m_i и m_j должны обучаться для того, чтобы поддерживать процесс речевого общения, лежащий в основе их кооперативного взаимодействия.

Высказанные соображения можно с успехом развивать дальше. Индивидов m_i и m_j наиболее естественно представлять как физически различные организмы; один из них может быть экспериментатором. Но почти так же естественно рассматривать M как организм, в котором m_i представляет собой оперативно действующую управляющую систему, включающую механизм непосредственного восприятия этого организма. Тогда m_j представляет одно из нескольких понятий, относящихся к прошлому организма, абстрагированных, закодированных и зарегистрированных в его устойчивой долговременной памяти (фактически мы имеем в виду такую интерпретацию, когда, например, говорим: «Я проверяю по своей памяти» или «Я ссылаюсь на свою память»). Психологические и физиологические данные согласуются с таким пониманием организма как особого типа популяции M . Если принять этот взгляд, то обнаруживается интересная (и, я считаю, плодотворная) аналогия между функциональной организацией в популяции кооперируемых индивидуумов и обучением понятиям, которое происходит в отдельном организме в ответ на приемлемое предписание.

Эти идеи предполагают некоторые более специфические ограничения, налагаемые на материал (в смысле Бира [11]) или на механизм системы, обучающейся мышлению. Так как большинство этих идей выведено на основании аналогий с живыми организмами, не удивительно, что ограничения, которые предполагаются

* В потенциально кооперативной среде должны быть вещи, которые m_i и m_j могут делать сообща и не могут сделать в одиночку. Если им выгодно действовать совместно, например в отношении выживания, тогда среда действительно является кооперативной. Акт реальной кооперации включает больше, чем простое взаимодействие. Так как первоначальные цели у m_i и m_j не совпадают, они должны модифицировать их и выработать компромиссную цель. Для того чтобы достигнуть компромиссной цели и выполнять ее, необходима коммуникация, аналогичная речевому общению.

ими, можно наблюдать на живых организмах. Полезно перечислить некоторые из них, так как они представляют собой свойства, которые — определенным и эквивалентным образом — необходимо придать искусственному устройству.

Первое — механика процесса мышления является квантовой, так что процесс идет вперед локально автономными шагами. Квантование очевидно и в организации животных; оно также было отмечено Грегори [12] для восприятия. Другое ограничение — факт существования механизма непосредственного восприятия, т. е. данных оперативной памяти, столь важных для организма (Фейгенбаум [13] уподобляет это буферной памяти и ссылается на важность такого механизма как расчленяющего фактора). На психологическом уровне существует механизм ожидания, описанный Грей Уолтером [14] и обсуждавшийся на настоящем симпозиуме [15]. Организм имеет унитарную ориентацию в отношении того, что, как он ожидает, должно случиться.

Далее, существует разграничение между стабильными, относительно неизменными и неустойчивыми системами. Система «долговременной памяти», например, существенно отличается от системы, содержащей конструктивную память (как, например, в системе ЕРАМ [16]), взаимодействующую с «оперативной памятью» (буферной памятью). По уровню организации «долговременная память» представляет не что иное, как другое название «труднодоступного регистра большой емкости»; эта любопытная система, возможно, сходна с *M*. Во всяком случае в физиологии считается установленным, что долговременная память использует в качестве запоминающей среды специфические макромолекулы белка, устойчивые по отношению к изменяющимся калиброванным сигналам, посылаемым при помощи РНК; при этом кратковременная память включает запоминание за счет свойств, присущих синапсу, а оперативная память динамична по своей природе.

Изложенные соображения показывают, что процесс мышления организован последовательно, в той мере, в какой цели достигаются посредством механизмов, выполняющих локально автономные подцели и действующих последовательно, шаг за шагом. (Здесь ничего не говорится о выполнении параллельных и последовательных вычислений, так как оба типа вычислений могут вести к последовательной организации.) Предложенная модель применима к организму в одном из его основных способов действия, т. е. к одной из его форм поведения. Жизнеспособный организм должен иметь также по существу параллельную систему для выбора одного из способов поведения; модель такого типа (объясняющая деятельность ретикулярной формации, которая а д а п т и р у е т с я, но не обучается) была представлена на настоящем симпозиуме [17]. Если же говорить про обучение мышлению, то почти несомненно существует механизм, который служит для связи с той или иной параллельной организацией, участвующей

в процессе конструирования понятий. Ньюэлл и другие [18] подчеркнули необходимость одновременного доступа к информации, которая касается подцелей, имеющих отношение к выполнению основной цели. В этом смысле последовательно организованная система действует в рамках параллельной по своему существу организации.

До сих пор мы имели дело с отдельным видом *m*. Но когда мы создаем разумные и обучающиеся искусственные устройства, мы обычно требуем от них больше, чем от *m*. Система, которая действует и обучается разумно, является неадекватной до тех пор, пока мы, человеческие существа, не можем понять, как она обучается, не можем следить за развитием ее понятийной структуры. Это вспомогательное требование полезно в некоторых условиях, но скорее всего оно дает возможность строить системы, которые мы хорошо понимаем потому, что они являются автоматами, выполняющими алгоритмы, или потому, что — когда системы похожи на нас — они механически принуждаются действовать, подобно человеческим существам. Весьма различные конструкции такого типа наиболее естественно взять за образцы искусственного разума. Следует, однако, помнить, что они ни в коей мере не выражают всех имеющихся здесь возможностей и не могут рассматриваться также как нечто наиболее желательное.

ЛИТЕРАТУРА

1. P a s k G. A Cybernetic Model for Some Types of Learning and Mentation.— «Proceedings of Bionics Symposium». Dayton, Ohio, 1966.
2. M i n s k y M. Matter, Mind and Models. — «Proceedings of IFIP Congress». Spartan Press, 1965.
3. A s h b y W. R. The Mechanism of Habituation. «N. P. L. Symposium on the Mechanization of Thought Processes». H. M. S. O., 1959.
4. W r i g h t G. H. von. Norm and Action. London, Routledge and Kegan Paul, 1963.
5. R e s c h e r N. The Logic of Commands. London, Routledge and Kegan Paul, 1966.
6. G o r n S. The Treatment of Ambiguity and Paradox in Mechanical Languages.— «Proceedings of Symposium in Pure Mathematics», v. 5. American Mathematical Society, 1962.
7. P a s k G. Comments on the Organisation of Men, Machines and Concepts.— «Education for Information Science». Heilprin, Markusson and Goodman (Eds). Spartan Press and Macmillan, 1965.
8. K o e s t l e r A. The Act of Creation. Hutchinson, 1964.
9. F o e r s t e r H. von. Biologic.— «Biological Prototypes and Synthetic Systems». Bernard and Kare (Eds). Plenum Press, 1962.
10. F o e r s t e r H. von and P a s k G. A Proposed Model for a Self Organizing System. — «Cybernetica», N 2, 1960 and N 1, 1961.
11. B e e r S. Cybernetics and Management. English Universities, Press, 1957 (русский перевод: Вир. Ст. Кибернетика и управление производством. 2-е изд., М., 1966).

12. Gregory R. L. Distortion of Visual Space as Inappropriate Constancy Scaling. — «Nature», v. 199, N 4894, August 1963.
13. Feigenbaum E. Elements of an Information Processing Model for Memory.— «Paper at Symposium on Information Processing and Memory at American Psychological Association». Los Angeles, September, 1964.
14. Grey Walter W., Cooper R., Aldridge V. T., McCallum W. C., Winter A. L. Contingent Negative Variation as an Electric Sign of Sensorimotor Association and Expectancy in the Human Brain.— «Nature», v. 203, July 1964.
15. Grey Walter W. Paper presented at this meeting. — «Proceedings of Bionics Symposium», Dayton, Ohio, 1966.
16. Feigenbaum E., Seward A. Elementary Perceiving and Memorising Machine. — «Information Processing», Proceedings of 2nd IFIP Symposium, C. E. Popplewell (Ed.). Amsterdam, North Holland, 1962.
17. Blum M., Craighill, Milner, McCulloch W. S. A Cybernetic Model for the Reticular Formation. — «Proceedings of Bionics Symposium». Dayton, Ohio, 1966.
18. Newell A., Shaw J. C., Simon H. Intelligent Learning in G. P. S.— «Self Organizing Systems». M. Yovits and J. C. Cameron (Eds). Pergamon Press, 1961.

ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ В МАЛЫХ ГРУППАХ

Б. Г. Ю Д И Н

В настоящей работе предпринимается попытка рассмотреть некоторые стороны социальной действительности, опираясь на представление о самоорганизации. Материал для такой попытки представлен в ряде социологических исследований, особенно тех, которые базируются на структурно-функциональном подходе, хотя проблема самоорганизации в социологии специально не изучалась. Как известно, в социологических исследованиях значительное внимание уделяется изучению закономерностей, лежащих в основе согласованной деятельности людей, которые образуют «малые группы». Различают два возможных способа организации такой деятельности: один из них характеризуется специально фиксируемой структурой связей между членами группы, а другой — отсутствием явно фиксированных отношений в группе. Первый рассматривают как одну из разновидностей «формальной» организации, второй — как проявление «неформальной» организации.

Мы рассмотрим эти типы организаций в связи с возможностями самоорганизации в малых группах. Очевидно, что можно говорить о наличии механизмов самоорганизации и на уровне более крупных социальных образований, однако эти механизмы требуют особого анализа и в данном случае нами рассматриваться не будут.

Введем основные понятия и предпосылки нашего анализа.

Малая группа является одним из типов *социальных систем*. Говоря о социальных объектах как о системах, мы предполагаем наличие у этих объектов целого ряда специфических системных характеристик. Одним из важнейших для системного подхода является представление о *целостности* системы, которое лежит в основе исходной дифференциации, позволяющей отделить систему от окружающей среды и заставляющей исследовать внешние связи, которые обеспечивают взаимодействие системы со средой, и внутренние связи, благодаря которым система выступает как нечто противостоящее среде. Кроме того представление о цело-

стности задает направление исследования — «от системы к элементам», — требующее выделения из всего многообразия свойств элементов системы именно тех, которые обеспечивают образование связей между элементами внутри системы и, следовательно, существование самой системы.

Необходимость и важность такой ориентации при исследовании малых групп можно проиллюстрировать следующим примером. Ф. Д. Горбов показывает, ссылаясь на практику летного труда и особенно спорта, что «во взаимосвязанной деятельности устойчивость деятельности и ее качество определяются не столько индивидуальным вкладом каждого из ее участников, сколько *характером и степенью их взаимодействия*. Этим объясняется и невозможность предсказания надежности и эффективности работы группы в целом, если основываться лишь на заранее выявленных индивидуальных особенностях каждого из членов группы» [1, стр. 254].

Понятие *иерархии* в некотором, хотя и ограниченном, смысле противостоит (если не считать «глобальной» системы — самого верхнего уровня иерархии) понятию целостности. Дело в том, что целостность предполагает относительную самостоятельность системы, тогда как иерархия, внешняя по отношению к данной системе, — ограничение самостоятельности. Принимая иерархическую схему, мы вынуждены рассматривать данную систему как подсистему другой, более широкой системы, причем последняя целиком определяет и строго регламентирует некоторые из важнейших сторон функционирования данной системы. Такая ситуация характерна для биологического организма, но вместе с организмическими идеями этот подход проник и в социологию. Бесспорно, многие процессы в социальных системах строятся на основе принципа иерархии. Однако абсолютизация этого принципа представляется неправомерной уже в биологии, не говоря о социальных системах, где она нередко ведет к принятию чересчур жесткой схемы, игнорирующей многие важные аспекты деятельности этих систем и препятствующей построению сколько-нибудь полной картины их функционирования. В несколько ином смысле эта проблема рассматривается Э. Голднером [7], указывающим, что помимо функционального единства элементы социальной системы должны обладать также и функциональной автономией.

Реальные взаимоотношения между двумя социальными системами, принадлежащими к различным уровням иерархии, включают как совпадение интересов, целей и действий этих систем, так и конфликты между ними, а также индифферентные отношения. Таким образом, при изучении определенной системы влияние систем более высокого уровня иерархии целесообразно рассматривать, по крайней мере в некоторых задачах, как одну из составляющих общего воздействия окружающей среды. В этом случае данная система выступает как целостное образование (вполне воз-

можно, внутренне иерархированное), но вместе с тем не исключаются из рассмотрения моменты, связанные с положением этой системы как элемента иерархической схемы.

Еще одну предпосылку системного подхода составляет представление о *сложности* систем, непосредственным следствием чего является необходимость многопланового рассмотрения системы. Для объяснения всех процессов, происходящих в системе, оказывается недостаточной одна группа законов, одно представление системы. Например, между членами социальной группы помимо экономических или производственных отношений существуют и другие сферы контакта, причем все эти сферы не изолированы друг от друга, а переплетаются, взаимодействуют между собой в реальной жизнедеятельности группы.

Наконец, системный подход к социальным образованиям связан с понятием *организации*. Переходя к этому понятию, рассмотрим сначала двухмерную характеристику, которую можно назвать «условиями функционирования» системы. Как уже отмечалось, всякая социальная система функционирует в некоторой среде, включающей «физические» и (более существенные с точки зрения рассматриваемых нами проблем) специфические социальные факторы. Взаимодействие системы со средой — первая, внешняя составляющая условий функционирования — может быть по отношению к системе нейтральным, благоприятным (т. е. обеспечивающим существование системы или даже стимулирующим ее рост или развитие) или неблагоприятным (т. е. подавляющим и разрушающим систему).

Вторая составляющая условий функционирования системы связана с динамическими процессами ее «внутренней жизни». Очевидно, что к одним и тем же внешним условиям различные системы оказываются приспособленными по-разному: для одной системы эти условия будут приемлемыми, а для другой они могут стать катастрофическими. Конечно, в значительной мере внутренняя составляющая складывается под действием внешних условий в «истории» системы. Но вместе с тем «в данный момент» ее целесообразно рассматривать независимо от внешних условий. Эту составляющую условий функционирования системы мы и будем называть организацией системы.

Очевидно, что с точки зрения соответствия внешним условиям совершенствование или развитие организации не обязательно должно быть связано с ее усложнением. Очень часто при сравнении организаций и особенно при попытках построения критерия организованности упускают из виду различие между относительной сложностью организации и соответствием организации выполняемым функциям, т. е. ее приспособленностью к окружающим условиям. А между тем при определенных внешних условиях более жизнеспособной может оказаться система с менее сложной организацией (см. [2]).

Следовательно, «условия функционирования» системы представляют собой обобщенную характеристику *соответствия* организации среде. В общем случае можно считать, что чем большее число различных факторов оказывает влияние на систему и должно учитываться ею и чем более широк диапазон изменений каждого из факторов, тем сложнее *должна быть* организована деятельность системы.

Определяющей атрибутивной характеристикой организации можно считать способность к дифференцированно-интегрированной деятельности, причем развитие этой способности оказывается в этом случае скоррелированным со сложностью организации. Дифференциация деятельности системы связана с увеличением числа выполняемых ею функций либо с более четким выполнением существующих функций. Поэтому понятие дифференциации может служить для сопоставления систем по сложности их организации. Вместе с тем прогрессирующая дифференциация требует развития в системе процессов интеграции, обеспечивающих целостность системы и позволяющих ей одновременно выполнять разные функции. Отсюда следует, что более точная сравнительная оценка сложности организации может быть получена с учетом взаимосвязи дифференциации и интеграции. Поскольку, однако, интеграция предполагает предшествующую дифференциацию, содержит ее в себе, она может выступать и как самостоятельный критерий сложности организации.

Понятие дифференцированно-интегрированной деятельности до некоторой степени сходно с введенным Т. Парсонсом [3] понятием «инструментально-консуматорной ориентации», в основании которого лежит противопоставление внешней и внутренней ориентаций системы, а также противопоставление инструментальных (связанных собственно с действием) и консуматорных (связанных с регулированием действий) функций. Отметим, однако, что понятие инструментально-консуматорной ориентации исходит из расчленения системы на элементы, выполняющие различные функции, тогда как введенное нами понятие предполагает в качестве исходного расчленение на элементы не самой системы, а ее деятельности. Дело в том, что один и тот же элемент может осуществлять и дифференцированные, и интегрирующие действия даже в пределах одного процесса, а тем более в различных сферах функционирования системы (см. в этой связи [10]).

Очевидно, что дифференцированно-интегрированная деятельность может соответствовать оптимальному уровню условий функционирования системы в большей или меньшей степени. По-видимому, под влиянием биологии, где действует механизм естественного отбора, поддерживающий это соответствие на высоком уровне, сложилась интенция игнорировать возможное несоответствие организации системы условиям ее функционирования в социальной сфере. В этой сфере, однако, нередки случаи, когда

насаждается и искусственно поддерживается организация, сложность которой не обеспечивает ее успешного функционирования.

Следует отметить, что рассматриваемый нами подход к описанию организаций позволяет сравнивать между собой организацию только подобных систем, т. е. систем одного уровня (это, по-видимому, относится и к другим существующим подходам). Для того чтобы можно было сопоставить, скажем, определенную биологическую популяцию с некоторой социальной организацией, необходимо выработать «масштаб» и привести к «общему знаменателю» различные факторы, действующие в обеих системах.

Рассмотрим теперь типы социальной организации, т. е. формальную и неформальную организации, применительно к малым группам.

Особенности формальной организации сводятся к следующему. Она создается в рамках существующей иерархии систем для выполнения строго определенных (часто системой более высокого уровня иерархии) задач, которые, таким образом, являются внешними по отношению к данной организации. Будучи сформированной, организация уже обладает жесткой структурой, причем впоследствии эта структура, как правило, остается неизменной. Происходят взаимные перемещения отдельных индивидов, когда изменяются выполняемые ими функции, но принципиальная схема интеграции при этом сохраняется.

* Иными словами, для формальной организации более характерна адаптация, которую У Росс Эшби [4, стр 106] называет адаптацией второго типа, — она происходит в рамках сложившейся структуры. Для формальной группы, однако, установление соответствия организации внешним условиям (особенно изменяющимся) является особой проблемой — оно может в течение значительного времени быть недостаточным для выполнения стоящих перед организацией задач. Организация более высокого уровня иерархии стремится обеспечить оптимальные внешние условия функционирования данной организации и регулировать, ослаблять возникающие внутренние напряжения.

Неформальная организация может складываться либо как дополнение к некоторой существующей формальной организации, либо совершенно независимо от нее. Для неформальной группы характерны естественно складывающиеся отношения в отличие от конструируемых на рациональных основаниях отношений, свойственных формальной организации. Сама организация в этом случае является «текучей» — в ней постоянно происходит своего рода саморегулирование, отбор, вследствие чего сохраняются только те свойства и связи, которые обеспечивают успешное функционирование системы в определенном диапазоне изменений окружающих условий. Таким образом, согласуясь с опреде-

лением, данным в [5], неформальные группы обладают большими возможностями для самоорганизации. Процесс организации может развиваться не только на базе сложившейся структуры ролей в системе, но и за счет перестройки этой структуры при изменении условий функционирования: в этом случае возможно то, что У. Росс Эшби называет адаптацией первого типа [4, стр. 106], т. е. более глубокие преобразования в системе.

Важной чертой неформальной организации является обычно отсутствие явно выраженной системы целей или задач. Если формальная организация выполняет задачи, которые специально зафиксированы, то неформальная группа может выполнять лишь такие задачи, которые она осознает как «свои», причем применительно к этим задачам ее эффективность обычно бывает более высокой, чем эффективность формальной организации в сходном случае (см. [11]). Вероятно, именно из осознания этого факта в последнее время прилагаются немалые усилия для создания совокупности методов управления, предназначенных для развития тем или иным способом у индивида или группы сознания того, что «внешняя» задача является «своей».

Вместе с тем в практике существует тенденция игнорировать или даже разрушать неформальные отношения. Эта тенденция опирается на воззрение, согласно которому естественные процессы ведут исключительно к разрушению «порядка», к хаосу, а формальная организация должна противодействовать этому хаосу (в более широком контексте этот предрассудок рассматривает Ст. Бир в [6]).

Между тем сложившаяся система неформальных отношений в той или иной формальной организации оказывает существенное влияние на функционирование последней. Решения, принимаемые и проводимые в жизнь руководством формальной организации без учета неформальных отношений, зачастую оказываются неэффективными, если они вызывают или усиливают конфликты между формальной и неформальной организациями.

Таким образом, из двух возможных схем зарождения и развития организации в малых группах одна связана с «принудительной», привносимой извне дифференциацией и интеграцией, а для другой в большей мере характерен естественный процесс организации — самоорганизация. В социологической литературе, посвященной проблемам организации (см., например, [7]), основное внимание уделяется взаимоотношениям между формальной и неформальной организациями, которые рассматриваются либо как противодействующие, либо как дополняющие друг друга. Можно, однако, поставить и несколько иную проблему: какими должны быть условия функционирования системы, чтобы стала возможной самоорганизация? В какой мере эти условия удовлетворяются в практике реальных групп?

Самоорганизация в микросоциальной системе может быть оха-

рактирована следующим образом. Личность, вступающая в формальную организацию (производственное подразделение, студенческую группу, школьный класс и т. п.), в силу предшествующего воспитания («социализации») обладает совокупностью различных сфер интересов, помимо тех, которые необходимы для выполнения непосредственных задач формальной организации. Примером может служить интерес к тому или иному виду искусства, к общественным проблемам, специфические возрастные интересы и т. д. Все они не могут быть удовлетворены в рамках формальной организации, однако в силу характерной для личности потребности в общении должны быть удовлетворены каким-то образом. Поскольку существует совпадение сфер интересов у разных членов организации, открывается возможность создания неформальной организации, ориентированной на ту или иную сферу интересов. Отметим, что возможно своего рода «обращение функции», когда не общение служит удовлетворению интересов в некоторой сфере, а, наоборот, сфера интересов «создается» для обеспечения возможности общения. Это легко объясняется тем, что общение является вполне самостоятельной ценностью.

Таким образом, первым необходимым условием самоорганизации в группе является наличие общих областей интересов у ее членов. Каждая общая область интересов представляет потенциальную неформальную организацию. В этом смысле чем более разносторонни интересы каждого члена группы, тем более возможно образование в ней неформальных организаций. Возникшая на определенной почве организация может развить соответствующие интересы у тех членов группы, у которых они незначительны. С другой стороны, разносторонность интересов членов группы может привести к тому, что некоторые существенные сферы интересов не удовлетворяются в данной группе, так что индивид окажется вынужденным искать удовлетворения своих интересов в других группах. Такова одна из причин образования неформальных организаций, не привязанных к той или иной формальной группе.

Может возникнуть вопрос, каким путем образование неформальной организации на базе, скажем, интереса к искусству влияет на функционирование формальной организации. Дело в том, что каждая неформальная организация, удовлетворяя потребность в общении, кроме того, укрепляет групповую солидарность. В результате вырабатываются общее групповое мировоззрение, система групповых норм и оценок. И когда то или иное решение руководства формальной организации вступает в конфликт с этим мировоззрением, группа может препятствовать выполнению такого решения.

Наличие общих интересов, однако, представляет необходимое, но недостаточное условие для самоорганизации в малой группе. На базе общих интересов может развиваться как согласие, так и

конфликт между членами группы. Очевидно, для самоорганизации необходимо выполнение еще одного условия, а именно наличие принципиального согласия между членами группы; если оно установлено, то происходит постоянная адаптация членов группы друг к другу, благодаря чему сглаживаются разногласия «второго порядка». Вместе с тем меняющиеся ситуации, в которых функционирует группа, являются источником новых разногласий, и это представляет важный момент, необходимый для поддержания заинтересованности в общении.

В модели самоорганизации, предложенной Г. Паском [8], проводится противопоставление конкурентных и кооперативных «правил игры», к которому близко только что сформулированное нами второе условие самоорганизации. Паск показывает, что самоорганизация возможна лишь в том случае, когда правила игры стимулируют кооперирование деятельности отдельных «игроков». Можно пойти дальше и сказать, что вопрос не сводится исключительно к «условиям игры», задаваемым извне: важной характеристикой является способность самих игроков образовывать коалицию, зависящая от характера отношений между ними.

А. Инкельс [9], рассматривая влияние социопсихических характеристик личности на структуру образующейся группы, пользуется такими обобщенными характеристиками, как «авторитарность», «противоличностная ориентация», «деспотичность», и противоположными — «эвалитарность», «личностная ориентация», «гуманность». Инкельс описывает эксперименты, в которых выявлялась зависимость отношений между членами групп и поведения групп от их состава, классифицируемого в соответствии с этими характеристиками. На наш взгляд, естественно было бы предположить существование корреляции между составом группы, оцениваемым указанным образом, и процессами самоорганизации в ней. В частности, можно допустить, что в группе необходимо какое-то минимальное число индивидов с высоким уровнем эвалитарности. Для проверки этого предположения, разумеется, нужны специальные эксперименты, которые позволяют установить и количественные оценки.

Мы связали понятие организации с представлением о дифференцированно-интегрированной деятельности. Исходя из изложенного, самоорганизацию в малых группах можно рассматривать как интеграцию *оснований деятельности*. В этом смысле микросоциальная самоорганизующаяся система характеризуется общностью не только деятельности, но и некоторых исходных предпосылок деятельности, а процесс самоорганизации такой системы можно трактовать как развитие общности оснований деятельности в группе, причем степень этой общности может рассматриваться как критерий для оценки самоорганизации (конечно, при условии конкретизации и детализации этого критерия). Отсюда следует, что самоорганизация не может быть раскрыта, если исходным

уровнем анализа остается деятельность как таковая, без исследования ее предпосылок.

Определение самоорганизации через интеграцию оснований деятельности позволяет уточнить вопрос о возможностях самоорганизации в различных типах организации. Ради простоты мы говорим о самоорганизации лишь применительно к неформальным группам. На самом деле ситуация выглядит несколько иначе. В формальной организации процессы самоорганизации выступают как нечто независимое по отношению к структуре организации, если только эти процессы не стимулируются специально; во всяком случае, самоорганизация не является необходимым компонентом таких организаций, хотя можно представить себе и исключения из этого правила. Напротив, совершенно очевидно, что процесс создания и функционирования неформальной организации более тесно связан с самоорганизацией. Поэтому изучение проблем самоорганизации в малых группах целесообразно проводить на материале неформальных групп. Можно предположить, что накопление эмпирического материала на основе экспериментальных исследований позволит не только проверить высказанные в этой работе соображения, но и расширить наши представления о природе самоорганизующихся систем, изучаемых в различных областях науки.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гю р б о в Ф. Д. Экспериментальная групповая психология. — «Проблемы инженерной психологии». Вып. 4. Л., 1966.
2. М а л и н о в с к и й А. А. Некоторые вопросы организации биологических систем. — «Организация и управление». М., 1968.
3. П а р с о н с Т. Общетеоретические проблемы социологии. — «Социология сегодня». М., 1965.
4. Э ш б и У. Р о с с. Конструкция мозга. М., 1962.
5. Ю д и н Б. Г. Самоорганизующаяся система. — «Философская энциклопедия», т. 4. М., 1967.
6. Б и р Ст. Кибернетика и управление производством. Изд. 2-е. М., 1966.
7. Г о л д н е р Э. Анализ организации. — «Социология сегодня». М., 1965.
8. П а с к Г. Модель эволюции. — «Принципы самоорганизации». М., 1965.
9. И н к е л ь с А. Личность и социальная структура. — «Социология сегодня». М., 1965.
10. M e r t o n R. Social Theory and Social Structure. Glencoe, Free Press, 1957.
11. К л а у с Г. Кибернетика и общество. М., 1967.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

БЛАУБЕРГ ИГОРЬ ВИКТОРОВИЧ — кандидат философских наук, руководитель группы системного исследования науки Института истории естествознания и техники АН СССР

САДОВСКИЙ ВАДИМ НИКОЛАЕВИЧ — кандидат философских наук, старший научный сотрудник Института истории естествознания и техники АН СССР

ЮДИН ЭРИК ГРИГОРЬЕВИЧ — кандидат философских наук, старший научный сотрудник Института истории естествознания и техники АН СССР

БЕРТАЛАНФИ ЛЮДВИГ фон — профессор университета Альберта, Эдмонтон, Канада

РАПОПОРТ АНАТОЛЬ — профессор Института психиатрии, Энн Арбор, Мичиган, США

УЕМОВ АВЕНИР ИВАНОВИЧ — доктор философских наук, профессор, зав. кафедрой философии Одесского госуниверситета

КОСТЮК ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ — кандидат философских наук, доцент кафедры философии Одесского госуниверситета

ЛЕФЕВР ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ — руководитель группы Центрального экономико-математического института АН СССР

ОВЧИННИКОВ НИКОЛАЙ ФЕДОРОВИЧ — доктор философских наук, старший научный сотрудник Института философии АН СССР

САЧКОВ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ — кандидат философских наук, старший научный сотрудник Института философии АН СССР

ВЕДЕНОВ МИХАИЛ ФЕДОРОВИЧ — кандидат философских наук, старший научный сотрудник Института философии АН СССР

КРЕМЯНСКИЙ ВИКТОР ИЗРАИЛЕВИЧ — кандидат философских наук, старший научный сотрудник Института философии АН СССР

СЕТРОВ МИХАИЛ ИВАНОВИЧ — кандидат философских наук, преподаватель кафедры философии Ленинградского отделения АН СССР

ХАЙЛОВ КИРИЛЛ МИХАЙЛОВИЧ — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологии южных морей АН УССР, г. Севастополь

ПОСПЕЛОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ — доктор технических наук, старший научный сотрудник Вычислительного центра АН СССР

ПАСК ГОРДОН — профессор, руководитель Центра системных исследований, Ричмонд, Великобритания

ЮДИН БОРИС ГРИГОРЬЕВИЧ — научный сотрудник Института конкретных социальных исследований АН СССР

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ЗАДАЧИ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ И ЕЕ ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ	7
И. В. БЛАУБЕРГ, В. Н. САДОВСКИЙ, Э. Г. ЮДИН. Системные исследования и общая теория систем	7
Л. фон БЕРТАЛАНФИ. Общая теория систем—обзор проблем и результатов	30
А. РАПОПОРТ. Различные подходы к общей теории систем	55
А. И. УЕМОВ. Логический анализ системного подхода к объектам и его место среди других методов исследования	80
В. Н. КОСТЮК. Теория систем как теория отношений	97
В. А. ЛЕФЕВР. Системы, сравнимые с исследователем по совершенству	104
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ. Структура и симметрия	111
Ю. В. САЧКОВ. Вероятность и развитие системно-структурных исследований	122
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В БИОЛОГИИ И В МОДЕЛИРОВАНИИ ПСИХИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	140
М. Ф. ВЕДЕНОВ, В. И. КРЕМЯНСКИЙ. К анализу общих и биологических принципов самоорганизации	140
М. И. СЕТРОВ. Степень и высота организации систем	156
К. М. ХАЙЛОВ. Некоторые условия количественного подхода к организации биологических систем	169
Д. А. ПОСПЕЛОВ. «Сознание», «самосознание» и вычислительные машины	178
Г. ПАСК. Обучение мышлению	185
Б. Г. ЮДИН. Процессы самоорганизации в малых группах	193
АВТОРЫ ВЫПУСКА	202

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Утверждено к печати
Институтом истории естествознания
и техники АН СССР*

Редактор *М. С. Беленький*
Художник *А. А. Кушечко*
Технический редактор *Н. П. Кузнецова*

Сдано в набор 16/II 1969 г. Подписано к печати 11/VII-1969 г.
Формат 60×90^{1/16}. Бумага № 2 Усл. печ. л. 12,75. Уч.-изд. л. 12,4
Тираж 5700. Т-09665. Тип. зак 1605.
Цена 75 коп.

Издательство «Наука». Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука». Москва, Г-99, Шубинский пер. 10