

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ЕЖЕГОДНИК 1971

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ
ВОПРОСЫ
И ФОРМАЛЬНЫЙ АППАРАТ
ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ

ТЕОРИЯ СИСТЕМ
И НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ
НАУКОВЕДЕНИЯ

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ
СИСТЕМНЫХ ИДЕЙ

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1971

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ЕЖЕГОДНИК

1971



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1972

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

SYSTEMS RESEARCH

YEARBOOK

1971



«НАУКА» PUBLISHING HOUSE
MOSCOW 1972

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**

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ

В ЧЕМ СОСТОИТ СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ПРИРОДЫ?

А. А. ЛЯПУНОВ

Интуитивное представление о системах

Наш анализ мы начнем с рассмотрения типичных примеров больших систем.

1. *Человеческое общество.* Каждый индивид обладает способностью совершать некоторые поступки и ориентироваться в той обстановке, где он находится. Для этой ориентации ему необходимо иметь определенные сведения о том, что происходит в окружающем его мире. Вообще говоря, он ставит перед собой определенную цель. Сообразуясь с имеющимися сведениями, он принимает определенные решения, т. е. выбирает свой образ действия.

Постоянно бывает, что целая группа людей, договорившись, действует согласованным образом. Такие группы, или коллективы, как их называют, обмениваются сведениями, принимают совместное решение и действуют сообща. Далее, некоторые группы вступают между собой в контакт и вырабатывают общую согласованную линию поведения. В других случаях ряд коллективов функционирует независимо друг от друга, и последствия их деятельности сочетаются между собой случайным образом. Наконец, некоторые коллективы ставят перед собой противоположные цели. Между ними возникает соперничество или даже открытая борьба.

Все это общеизвестно. Нас интересует некоторая схематизация. Система состоит из элементов. Эти элементы обладают способностью обмениваться информацией, в результате чего возникают подсистемы, относительно автономные и выполняющие согласованные действия. Такие подсистемы связаны между собой иерархическим образом, т. е. подсистемы определенного уровня объединяются в подсистемы более высокого уровня. При этом цир-

куляция информации определяет поведение отдельных элементов, а также рассматриваемых подсистем. Это воздействие циркулирующей информации на поведение называется управлением.

При изучении человеческого общества возникают следующие вопросы: 1) зная принципы управления, господствующие в обществе, выяснить, какой режим поведения установится в обществе в целом; 2) как пужно организовать управление обществом для того, чтобы в нем установился некоторый режим, который представляется желательным; 3) имея перед глазами некоторое реальное общество, выяснить, какие потоки информации, т. е. какие принципы управления в нем господствуют, и как они создают тот режим поведения, который в этом обществе наблюдается; 4) какой прогноз можно высказать о судьбе данного общества; 5) как надлежит менять управление в данном обществе для того, чтобы в будущем в нем установился некоторый режим, представляющийся желательным.

2. *Отрасль производства или народное хозяйство.* Имеются элементы, т. е. отдельные производящие организации. Эти организации получают определенные сведения о том, какую продукцию они должны поставить. В связи с этим они выбирают свой образ действия, в частности, они устанавливают некоторые контакты с другими организациями. В результате формируется режим управления в каждой отдельной организации, возникают коллективы организаций, т. е. подсистемы рассматриваемой системы, и возникает некоторый глобальный режим системы в целом. Здесь возникают в точности такие же задачи, как при изучении человеческого общества.

3. *Живой организм.* В качестве исходных элементов можно рассматривать отдельные клетки. Объединение клеток образует ткани и органы. Органы объединяются в системы органов. Наконец, системы органов формируют организм в целом. Мы можем рассматривать это как последовательное объединение клеток в определенные подсистемы, подсистем в подсистемы высшего уровня и т. д. В пределах организма имеется целый ряд потоков управляющей информации, которая определяет режим поведения его частей. Сюда относятся системы нервных импульсов, внешние раздражения, воспринимаемые рецепторами данного организма и трансформирующиеся в этих рецепторах в нервные импульсы; а также химические и механические сигналы, возникающие в самом организме, в частности, химический состав крови в тех или других частях системы кровообращения.

4. Таким же образом можно рассматривать *популяции*, состоящие из индивидов и разбивающиеся на стада, семьи и т. п.; *биогеоценозы* разных уровней, которые разбиваются либо на соседствующие цепозы низших уровней, либо на отдельные популяции; а также *вычислительные машины*, состоящие из большого количества деталей и специальных устройств, или другие системы автоматов. Отметим некоторые общие черты, характерные для паз-

ванных объектов: 1) наличие некоторых элементов, способных воспринимать, хранить, перерабатывать информацию, а также изменять свое состояние (тип переработки информации, осуществляемый элементом, зависит от его состояния, а само состояние элемента может зависеть от поступающей к нему информации); 2) наличие каналов связи, по которым эти элементы обмениваются информацией; 3) наличие относительно автономных подсистем, находящихся в иерархическом соподчинении; 4) практическая невозможность совершенно полного выяснения всех имеющихся связей и состояний элементов отчасти ввиду их весьма большого числа, отчасти ввиду технической трудности; 5) возможность формирования высшего яруса иерархии по одному из двух способов: а) структурно, т. е. так, что возникают специальные каналы связи, по которым строго определенные подсистемы обмениваются информацией между собой и которые функционируют стабильно; б) статистически, когда обмен информацией между подсистемами происходит в некотором случайном режиме.

Для структурного способа характерно сравнительно высокое быстродействие, т. е. быстродействие высшего яруса вполне сравнимо с быстродействием низшего яруса. Для статистического способа характерна более высокая устойчивость, особенно в случае большого числа взаимодействующих подсистем. В этом случае интегральный режим описывается на базе предельных теорем теоретико-вероятностной природы, поэтому выход из строя или аномальная работа небольшого числа взаимодействующих элементов или подсистем в большинстве случаев существенного влияния на режим в целом оказать не может. С другой стороны, при статистическом способе формирования высшего яруса длительность переходных режимов обычно больше, чем при структурном способе.

Изложенные соображения вводят в проблематику теории больших систем, которая, по сути дела, является составной и центральной частью кибернетики. Более подробно и более отчетливо представления о системах, изучаемых кибернетикой, охарактеризованы в работе С. В. Яблонского [10].

Управляющие системы (по Яблонскому)

Управляющие системы (УС) являются некоторым схематическим описанием реальных объектов, которые воспринимаются нами как системы. В основе каждой УС лежит некоторый ориентированный граф, ребрами которого являются связи. В узлах этого графа находятся элементы УС. Некоторые элементы способны воспринимать сигналы, приходящие из внешнего мира. Это входные полюса. Некоторые другие выдают сигналы во внешний мир. Это выходные полюса. Остальные называются внутренними элементами системы. У элементов отмечены входы и выходы. Входами являются концы инцидентных с ними ребер, выходами —

начала инцидентных с ними ребер. По входящим ребрам к элементу поступают сигналы, по выходящим — от элемента исходят сигналы. Внутри элемента осуществляется преобразование входящих сигналов в исходящие. Каждому каналу связи отвечает определенный язык, на котором кодируются циркулирующие в нем сигналы. Закон преобразования входных сигналов в выходные для заданного элемента может зависеть от его состояния. Каждому элементу отвечает некоторый набор возможных состояний. Переход из одних состояний в другие осуществляется под действием тех же входных сигналов.

В действительности для перехода из одного состояния в другое элементу требуется некоторое время, и, вообще говоря, в нем наступает некоторый переходный режим. Воздействие сигналов, поступающих в некоторый элемент, когда он находится в переходном режиме, нередко бывает неустойчивым. Поэтому при описании УС приходится вводить так называемый внешний алгоритм, т. е. алгоритм, который дает полное описание функционирования системы в целом, включая и то, что связано с переходными режимами элементов. Каждая УС реализует некоторый алгоритм переработки информации, который состоит в том, что поступающие сигналы перерабатываются в выходные сигналы всей системой в целом. Этот алгоритм называется внутренним алгоритмом системы. Роль УС по отношению к внешнему миру именно и состоит в реализации ее внутреннего алгоритма, а также в последовательной смене состояний ее элементов.

Здесь нужно сделать некоторые оговорки.

1. Когда речь идет об УС и связанных с ней алгоритмах, то, в частности, допускается рассмотрение непрерывно функционирующих алгоритмов (хотя наиболее типичные задачи относятся к дискретным алгоритмам), а также рассмотрение алгоритмов со случайными актами, т. е. некоторая разновидность случайных процессов. Кроме того, возможны потоки информации весьма разнообразной природы. Наиболее характерными являются два типа потоков: 1) потоки информации в собственном смысле этого слова, т. е. системы сигналов, которые могут преобразовываться одни в другие, передаваться по различным каналам связи и для которых характерно лишь то, что после уничтожения они не могут быть восстановлены; 2) потоки материи, которые удовлетворяют законам сохранения и, следовательно, не могут размножаться, но допускают акты взаимной замены. С общей точки зрения как то, так и другое, при описании УС рассматривается как информация. Наконец, в УС допускаются акты случайного характера, а также акты, изменяющие структуру самой УС. Общая схема изучения конкретных УС различной природы изложена в нашей совместной с С. В. Яблонским статье [8].

2. При изучении УС возникает целый ряд характерных вопросов, которые относятся каждый раз к конкретной УС, но между которыми имеется глубокая общность, в результате чего

оказывается возможным систематизировать их в некотором едином общем плане и дать их описание, практически не зависящее от того, о какой индивидуальной УС идет речь. Прежде всего, возникает макроподход к изучению УС. Сюда входят: выявление входных и выходных полюсов УС, потоков поступающей и исходящей информации, способов кодирования этой информации (или языка, на котором она записана), а также описание внутреннего алгоритма системы, т. е. закона переработки поступающих сигналов в выходные сигналы, и, наконец, выяснение того, как проявляется функционирование данной УС во внешнем мире.

После завершения в какой-то степени макроподхода возникает микроподход к изучению УС. Он состоит прежде всего в выделении элементов УС, в изучении их функционирования (здесь можно говорить о подходе к изучению каждого отдельного элемента как самостоятельной УС), в установлении каналов связи и построении соответствующего графа, в нахождении внешнего алгоритма функционирования системы. После этого возникают уже более специальные вопросы, касающиеся изучения данной УС. Это — анализ ее функционирования, т. е. выяснение того, как внутренний алгоритм системы формируется под действием ее внешнего алгоритма и функционирования ее элементов. (При этом приходится принимать во внимание возможность изменения структуры УС в целом в процессе ее функционирования. Некоторые каналы связи, а также элементы могут отключаться или заменяться другими. При этом будет изменяться граф системы, набор ее элементов, а также внутренний и внешний алгоритмы системы и ее функционирование во внешнем мире).

Возникают вопросы, относящиеся к изучению надежности работы системы и характера возникающих в ней сбоев, эволюции этой системы во времени, устойчивости ее функционирования. Наконец, в силу того, что возможен ряд УС с близкими свойствами, возникает вопрос об их классификации, т. е. о выяснении общих черт сходства и различия между рассматриваемыми УС. Далее все начинается сначала, только отдельные элементы УС могут рассматриваться как самостоятельные УС. С другой стороны, при классификации УС возникает вопрос о сравнительном изучении ряда УС, близких по свойствам, и это изучение в общем проводится примерно по той же схеме. Отметим только, что членение УС на элементы, вообще говоря, может быть неоднозначным. Оно зависит, с одной стороны, от характера требований, предъявляемых к изучению данной УС, с другой стороны — от искусства исследователя.

Необходимо особо подчеркнуть, что в каждом конкретном случае процедура спуска от системы в целом к ее элементам является ограниченной, и представление о возможном ее неограниченном продолжении бессодержательно. В то же время представление о том, что процесс формирования новых систем на пути объединения между собой уже имеющихся систем на основе

каких-то их взаимодействий может разворачиваться неограниченно, имеет полный смысл. В самом деле, все вопросы прогресса социального, технического, а также научного могут рассматриваться именно с такой точки зрения. Считать, что все эти процессы заранее ограничены, нет никаких оснований (аналогия с индукцией!). Наряду с вопросами, относящимися к изучению существующих или потенциально возможных УС, возникают еще вопросы синтеза УС, обладающих заданным функционированием.

1. Проблема полноты состоит в том, чтобы выяснить, может ли любая УС из наперед заданного класса быть осуществлена из элементов заданной природы при условии, что возможные способы соединения этих элементов между собой заранее точно очерчены. Например, произвольная функция алгебры логики может быть осуществлена контактной схемой из замыкающих и размыкающих контактов при помощи параллельных и последовательных соединений. Если же ограничиться только элементами «положительного» действия, т. е. допускать только конъюнкции и дизъюнкции, но не отрицания, тогда возможен синтез схем, реализующих лишь монотонные функции алгебры логики. Естественно, что проблема полноты возникает применительно к весьма различным классам элементов, а также к процессам функционирования УС. Основные результаты в этом направлении принадлежат С. В. Яблонскому и его ученикам [11].

2. При положительном решении проблемы полноты возникает вопрос о синтезе из данных элементов УС с данным функционированием. Сначала возникает вопрос о нахождении метода синтеза, затем — о нахождении таких методов, которые позволят синтезировать УС с данным функционированием и оптимальны в некоторых специальных смыслах, с точки зрения быстродействия, экономии элементов, надежности функционирования при наличии тех или других помех и т. д. Эта проблематика была вызвана к жизни работами К. Шеннона [9].

3. Нередко оказывается, что оптимальный синтез требует перебора огромного числа возможностей, и поэтому он оказывается практически невыполнимым. Разработка алгоритмов синтеза подчиняется ряду специальных требований: а) они должны всегда приводить к построению УС, обладающей требуемым функционированием; б) требование оптимальности построенной УС должно выполняться лишь некоторым приближенным образом на классе всех изучаемых УС в целом; в) трудоемкость алгоритма должна быть доступной и во всяком случае существенно меньшей, чем перебор всех возможностей.

Фундаментальные результаты в этом направлении получены О. Б. Лупановым [4] и рядом связанных с ним исследователей.

4. Бывает, что некоторые алгоритмы, дающие исчерпывающее решение определенного класса задач (в том числе может быть и задач синтеза систем), таковы, что их трудоемкость

находится за пределами доступного. В то же время исходная информация, которая используется этими алгоритмами, допускает некоторое структурирование, точнее, она обладает некоторой дискретной топологией специального типа. Тогда наряду с универсальными алгоритмами для решения данных задач можно рассматривать приближенные алгоритмы, использующие лишь информационные связи ограниченного ранга. Подчас случается, что исчерпывающее решение задачи требует учета всех информационных связей, однако в подавляющем большинстве частных случаев можно ограничиться лишь использованием информационных связей ограниченного ранга. Эти явления изучаются в теории так называемых локальных алгоритмов, разработанной Ю. И. Журавлевым [2]. По сути дела здесь рассматриваются некоторые компромиссы между трудоемкостью алгоритма и качеством приближенного решения, которое он доставляет.

Сделаем еще некоторые замечания, касающиеся анализа функционирования УС. Эти задачи можно понимать по-разному: а) в строго детерминированном плане для детерминированных систем; б) в вероятностном плане, считая системы детерминированными, а поток на входе — случайным; в) в вероятностном плане, считая систему стохастической и рассматривая заданные системы сигналов на входе; г) в вероятностном плане, считая как системы, так и поток на входе стохастическими.

Кроме того, возможны приближенные подходы к анализу систем, состоящие в том, что результаты анализа будут давать предсказания функционирования системы не всегда, а лишь на некотором «достаточно толстом» множестве ситуаций.

Системный подход к изучению реальных объектов

При изучении реального объекта системный подход состоит в том, что исходят из представления этого объекта в виде УС и осуществляют по отношению к нему сначала макроподход, а затем — микроподход, должным образом детализируя частные задачи. Наиболее характерным при этом является то, что отправным пунктом исследования является рассмотрение этого объекта в целом и его функционирования во внешнем мире, а затем — членение его на составляющие, выделение характерных подсистем, рассмотрение связей между ними и т. д.

Сплошь и рядом характерные черты некоторой концепции легче всего выделить не столько путем подробного описания этой концепции, сколько путем сопоставления ее с некоторыми другими концепциями. Так, например, мы можем сопоставить системный подход к изучению живой природы, а также популяций, организмов и т. д., и противоположный системному подходу другой подход, состоящий в том, что выдвигается тезис, что живую природу нужно изучать путем перечисления отдельных ее форм,

детального изучения этих форм, и только после этого переходить к изучению простейших взаимодействий между различными формами. Вряд ли на втором пути при его последовательном проведении можно будет разобраться в основных механизмах эволюционного процесса и тем более в строении и функционировании биосферы в смысле Вернадского. Если говорить об изучении языка, который представляет собой систему кодирования информации, циркулирующей в УС, представляющей собой человеческое общество, то можно говорить, с одной стороны, о системном подходе, с другой стороны, о противоположном подходе, который в основном развивается в пределах лингвистики и который состоит в том, что все внимание обращается на элементы, морфемы, фонемы, слова, предложения, а рассмотрение языка в целом и его существенных подсистем автоматически отодвигается на второй план.

В настоящей статье я не буду касаться описания системного подхода к вопросам организации производства и народного хозяйства. Эти вопросы освещаются во многих других работах. Пример применения системного подхода к вопросам народного образования содержится в моей статье [6]. Здесь же я остановлюсь только на системном подходе в изучении живой природы и языка.

Проводя исследование живой природы с позиции системного подхода [7], надо начинать с определения понятия жизни. При этом выясняется роль процессов управления, а также циркуляции и хранения информации [5], [3]. Живое — это объект, обладающий сохраняющими реакциями, которыми он отвечает на внешнее воздействие и которые определяются УС, использующей информацию, хранимую на молекулярном уровне. Далее приходится рассматривать разные типы сохраняющих реакций и классифицировать их по быстрдействию и степени разнообразия. Это, в свою очередь, приводит к тому, что информационные потоки, вызывающие эти сохраняющие реакции, также приходится классифицировать по быстрдействию и степени разнообразия. Эти потоки информации формируются и перерабатываются УС, которые находятся в иерархическом соподчинении по отношению друг к другу. При этом УС высоких уровней настраивают УС более низких уровней, а УС самого низкого уровня воздействуют на исполнительные органы.

Следуя известной концепции Н. В. Тимофеева-Ресовского, мы выделяем четыре основных уровня организации живой природы: клеточный, организменный, популяционный и биогеоэкологический. На уровне клетки исходными элементами являются в одних случаях ее органеллы, в других случаях — биологически активные макромолекулы. Сама клетка играет роль системы в целом. Задача состоит в том, чтобы, отправляясь от элементарных, в основном биохимических актов, выполняемых макромолекулами или органеллами, перейти к пониманию функционирования клетки в целом.

На организменном уровне в качестве исходных элементов рассматриваются клетки. Промежуточными подсистемами могут являться ткани, органы или системы органов. Задача состоит в том, чтобы понять функционирование организма в целом.

На популяционном уровне исходными элементами являются отдельные особи, т. е. организмы. Их возможности считаются заданными. Вопрос состоит в том, чтобы понять процесс эволюции популяции. Роль подсистем могут выполнять отдельные семьи, стада и т. д.

На уровне сообществ при рассмотрении элементарных биогеоценозов в качестве элементов рассматриваются популяции, а также косные и биокосные компоненты, составляющие эти сообщества. Задача состоит в том, чтобы понять обменные процессы, протекающие в ценозе. При рассмотрении ценозов более крупных масштабов, вплоть до биосферы в целом, роль элементов должны играть биогеоценозы более крупных масштабов. Складывается такое впечатление, что планомерно проведенный системный подход к изучению живой природы должен привести к формированию кибернетической части теоретической биологии. Вся теоретическая биология должна состоять, по нашему мнению, из двух частей: физико-химической, назначение которой состоит в том, чтобы расшифровать физико-химическую природу элементарных актов жизнедеятельности на уровне макромолекул или клеточных органелл, и кибернетической, назначение которой состоит в том, чтобы понять функционирование биологических систем, отправляясь от их структуры и сведений о свойствах их элементов.

Заметим, что последовательное проведение системного подхода к биологии требует разработки целого спектра математических моделей различных биологических систем. Организация этих моделей должна быть последовательно иерархической, т. е. желательно, чтобы одни модели проливали свет на функционирование систем, которые служат элементами других моделей — моделей высшего уровня.

Вопрос кодирования информации, используемой в некоторой УС, играет весьма большую роль при изучении функционирования УС, особенно в случае, если ее строение в той или иной степени известно. Здесь также возможен системный подход. Нередко при кодировании информации можно установить определенную иерархическую структуру. Циркулирующие сообщения можно подразделить на автономные куски, которые имеют определенное функциональное значение в некоторых определенных элементах системы. Смежные элементы системы более полно используют информацию, исходящую из данного элемента, тогда как более удаленные элементы системы воспринимают некоторую информацию лишь после того, как она в значительной степени отфильтрована. Точно так же длинные тексты содержат внутри себя определенные информационные связи, причем нередко бывает, что

эти информационные связи весьма интенсивны на коротких участках текста и слабее — между далекими отрезками текста. Однако в тех случаях, когда приходится иметь дело с весьма разнообразной и в то же время существенной информацией, можно предположить, что кодирование информации таково, что чем большие участки текста мы берем, тем более разнообразные информационные связи в пределах этого текста могут проявляться. Так, например, в человеческих языках первичным носителем смысла является слово. Однако чрезвычайно большое значение имеют отношения между словами в пределах предложения или отношения между теми или иными составляющими распространенных предложений. Специальные исследования показывают (А. К. Жолковский, И. А. Мельчук [1]), что даже эти взаимоотношения в некотором смысле имеют иерархический характер — обычно понимаемые синтаксические отношения, а также разные уровни «семантических отношений». Однако имеются отношения между смежными предложениями, которые кодируют обстоятельства, не кодируемые в пределах предложения. Например, вопрос о том, что заменяет то или иное местоимение в данном предложении.

Системный подход к изучению языка представляется мне в следующем виде. Прежде всего должно быть очерчено множество текстов или множество источников текстов, которые признаются относящимися к данному языку. Затем можно представить себе членение этого материала на некоторые подсистемы по тому или иному признаку. Это может быть членение по отраслям, по группам людей, являющихся источником этих текстов, по назначению текстов (тексты деловые, личные, научные, художественные) и т. д. Затем в пределах каждого из этих классов можно выделить отдельные, наиболее характерные произведения или наборы произведений, которые подлежат более детальному и тщательному исследованию.

Эти отобранные тексты, в свою очередь, рассматриваются как в целом, так и с точки зрения некоторой их микроструктуры. По-видимому, при этом в пределах этих текстов будут выделены некоторые иерархические связи, которые в конечном итоге дойдут до связей в пределах одного предложения и до словоформ. Далее, конечно, возникает вопрос о типизации словоформ и отношений между словами в пределах предложений, одновременно с этим возникает вопрос об отношениях между предложениями в пределах абзаца или между соседними предложениями, наконец, об отношениях между более крупными «кусками» текста. Здесь чисто грамматические, т. е. морфологические и синтаксические, вопросы окажутся в положении нижних ярусов структурных связей, где-то на высших ярусах будет фигурировать стилистика, и еще выше — содержание текста. С такой точки зрения должен возникнуть единый системный подход к изучению языка, который может явиться основой построения грамматики, основой исследо-

вания стилистики, а также дешифровки письменности утраченных языков. Все это органически связано с развитием математических методов лингвистики и даже филологии.

Отношение между изучением больших систем и аксиоматическим построением теории множеств

1. При изучении больших систем, т. е. таких систем, которым невозможно дать описание отчасти из-за того, что для этого было бы необходимо слишком большое количество сведений, отчасти из-за того, что получение многих из этих сведений затруднительно, приходится прибегать к использованию неполной, частичной информации. Основные сведения о строении и функционировании больших систем имеют такой характер. Имеются данные об отдельных элементах и связях между некоторыми элементами. При этом весьма существенно, чтобы имеющиеся сведения очерчивали бы некоторую относительно автономную систему и чтобы можно было считать, что эта система в каком-то смысле типична как подсистема исходной системы. Обычно предполагается, что выделен некоторый набор таких автономных подсистем разных уровней и что есть возможность пополнять сведения об их строении и функционировании. Часто существенно, чтобы описанные автономные подсистемы находились в определенных взаимоотношениях друг с другом. Это могут быть либо иерархические взаимоотношения, либо в некотором смысле равноправное положение выделенных подсистем в системе в целом. Особенно важным с этой точки зрения является отношение вхождения одной подсистемы в другую в качестве ее элемента и возможность вычленения ряда иерархически следующих друг за другом подсистем. Обычно задача состоит в анализе функционирования системы в целом, отправляясь от сведений, касающихся функционирования некоторых ее подсистем, и взаимоотношений между этими подсистемами.

2. Аксиоматическая трактовка теории множеств, грубо говоря, состоит в следующем. Имеются некоторые исходные элементы, которые, объединяясь, образуют множества. Далее, возможны включения этих множеств в число элементов и формирование новых множеств. Такой процесс разворачивается по индукции, причем в разных аксиоматических системах допускаются разные возможности индукции. Ставятся вопросы об отношениях между множествами, образованными в результате тех или других индуктивных конструкций. Наиболее замечательным оказывается то, что можно описывать некоторые конструкции множеств, не зависящие от того, какие возможности индукции считаются допустимыми. Оказывается, что в зависимости от того, какая система аксиом принята, т. е. в конечном итоге от возможностей индукции, отношения между этими множествами могут быть различными. Другими словами, отношения между множествами

оказываются существенным образом зависящими не только от того, как они построены, но и от тех индуктивных средств, которые дозволено использовать при их изучении.

3. Складывается впечатление, что имеется глубокое родство между аксиоматическими подходами к изучению множеств и системным подходом к изучению больших систем. И там и здесь имеется иерархическая конструкция, с помощью которой вся система объектов, подлежащих изучению, формируется из некоторых исходных элементов. В обоих случаях имеется некоторый произвол в выборе системы описания изучаемого множества объектов, и результаты, которые могут быть получены, относятся не только к самой системе, но и к выбранному способу описания. Другими словами, всегда имеет место некоторая относительность подхода к изучаемым объектам. Вряд ли это следует рассматривать как дефект или как органическую слабость подхода. Думаю, что наоборот, эта относительность подхода органически связана с тем, что изучение больших систем в каждом конкретном случае преследует определенную цель и бывает связано с комплексом ограничений, который органически соответствует преследуемой цели. Это ведет к тому, что постановка вопросов должна осуществляться в строгом соответствии с целью исследования, и именно она, т. е. цель, должна определять, какое членение систем на подсистемы или какое вычленение автономных подсистем имеет значение. Таким образом, характер аксиоматики, который следует выбирать при изучении больших систем, не является абсолютным, а должен диктоваться целью исследования. Здесь имеется глубокая аналогия с аксиоматическими исследованиями теории множеств, но, к сожалению, этот вопрос еще недостаточно разработан для того, чтобы его можно было представить в отчетливой форме.

[4. Аксиоматика теории множеств представляет собой одно из наиболее рафинированных направлений так называемой чистой математики. Исследование больших систем — область человеческой деятельности, далеко выходящая за рамки собственно математики. Эта область играет громадную роль в чрезвычайно разнообразных областях знаний прикладного характера. Догадки, изложенные в этой статье, еще раз говорят о том, что наиболее глубокие вопросы, связанные с обоснованием математики, оказываются идейно родственными новым областям приложения математики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жолковский А. К., Мельчук И. А. О семантическом синтезе.— «Проблемы кибернетики», вып. 19. М., 1967.
2. Журавлев Ю. И. Теоретико-множественные методы в алгебре логики.— «Проблемы кибернетики», вып. 8. М., 1962.
3. Кулагина О. С., Ляпунов А. А. К вопросу о моделировании эволюционного процесса.— «Проблемы кибернетики», вып. 16. М., 1966.
4. Лупанов О. Б. Об одном подходе к синтезу управляющих систем — принципе локального кодирования.— «Проблемы кибернетики», вып. 14. М., 1965.
5. Ляпунов А. А. Об управляющих системах живой природы и общем понимании жизненных процессов.— «Проблемы кибернетики», вып. 10. М., 1963.
6. Ляпунов А. А. О системе народного образования и систематизации наук.— «Вопросы философии», 1968, № 3.
7. Ляпунов А. А. О рассмотрении биологии с позиции системного подхода к изучению живой природы.— «Проблемы методологии системного исследования». М., 1970.
8. Ляпунов А. А., Яблонский С. В. Теоретические проблемы кибернетики.— «Проблемы кибернетики», вып. 9. М., 1963.
9. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963.
10. Яблонский С. В. Основные понятия кибернетики.— «Проблемы кибернетики», вып. 2. М., 1959.
11. Яблонский С. В., Гаврилов Г. П., Кудрявцев В. В. Функция алгебры логики и классы Поста. М., 1966.

СТАНОВЛЕНИЕ И ХАРАКТЕР СИСТЕМНОЙ ОРИЕНТАЦИИ

Б. Г. ЮДИН

В настоящей статье предпринимается попытка рассмотреть одну из характерных особенностей современного научного мышления, которую можно было бы назвать системной ориентацией. В той или иной степени системная ориентация способствовала становлению целого ряда методологических концепций, таких как структурализм в социальных науках, структурно-функциональный анализ, различные подходы к общей теории систем. Каждое из этих направлений, сформировавшись первоначально в рамках какой-либо отрасли знания, в дальнейшем приобретает тенденцию к расширению сферы своего применения на смежные, а иногда и достаточно отдаленные научные дисциплины, становясь в результате общенаучным. Уже сам факт подобного распространения методов и, в частности, та быстрота и легкость, с которой оно осуществляется, свидетельствует о том, что в настоящее время в самых различных науках имеется довольно глубокое сходство в способах рассмотрения и, в первую очередь, восприятия исследуемых объектов.

Следует подчеркнуть известную близость между названными методологическими концепциями — структурно-функциональным анализом, разновидностями общей теории систем и структурализмом. Хотя существует довольно много работ, в которых эти направления противопоставляются друг другу, однако полемика между сторонниками каждого из них не должна скрывать того, что некоторые исходные установки этих концепций в сущности тождественны: «за... изолированностью (и не только внешней) стоит еще не получившая достаточного осознания общность всех трех направлений» [2, стр. 58]. Такая общность исходных установок позволяет говорить об этих установках как об одном из факторов, формирующих современное научное мышление. По-видимому, без вычленения и анализа предпосылок, разделяемых отмеченными концепциями, и составляющих основу того, что мы называем системной ориентацией, едва ли возможно сколь-нибудь полно охарактеризовать науку нашего времени.

Говоря о системной ориентации, мы имеем в виду некоторую специфическую совокупность требований регулятивного характера, налагаемых современной наукой на конкретное исследование. Подробнее эти требования будут рассмотрены во второй части статьи, после того, как мы проследим некоторые аспекты становления системной ориентации.

Следует отметить, что системная ориентация не должна пониматься как некий алгоритм или набор алгоритмов, лежащий в основе исследовательского движения и предписывающий те или иные ходы этому процессу. Для механизма, реализующего требования системной ориентации, характерно то, что эти требования выступают как исходные предпосылки или методологические установки, принятие которых зачастую не осознается или не фиксируется. Как правило, у исследователя нет необходимости прилагать специальные усилия для того, чтобы его построения отвечали требованиям системной ориентации. Напротив, нормативный характер их отчетливо проявляется именно тогда, когда исследование не удовлетворяет этим требованиям.

Становление системной ориентации представляет сложный процесс, который не может быть целиком сведен к сумме преобразований, происшедших в понятийном аппарате науки. Существенное влияние на выработку системной ориентации оказали процессы, имеющие место в современном инженерном мышлении, а также некоторые изменения в социальной и хозяйственной жизни современного общества. Следует отметить, что именно эти аспекты нередко игнорируются при анализе теоретических истоков концепций, основывающихся на системной ориентации. В результате остаются необъясненными или даже незамеченными некоторые специфические особенности современного научного мышления. Часто говорят, что наука все более превращается в непосредственную производительную и социальную силу. Это верно, но не менее верно и другое — сами производственные и социальные факторы оказывают все большее влияние на науку, причем не только в плане постановки проблем, на решении которых сосредоточивают свои усилия исследователи, и организации научной деятельности. Не менее важно и то, что эти факторы модифицируют «картину мира», на которую опирается и которой руководствуется современный ученый, а также используемый им концептуальный аппарат.

Отметим, что иногда становление специфически «системного» взгляда на мир объясняется как результат изменения характера задач, стоящих перед наукой. Действительно, подобный процесс имеет место — особенно характерен он для прикладных исследований. Однако в целом такое объяснение представляется недостаточным, а применительно к теоретическим разработкам оно зачастую неудовлетворительно. Дело в том, что при этом механизм постановки задач трактуется как нечто внешнее, противостоящее соответственно научной деятельности. Необходимо ведь не только

объяснить, откуда же появляются новые задачи — следует учитывать также, что они не могут просто задаваться, диктоваться извне. По словам Маркса, «... при ближайшем рассмотрении всегда оказывается, что сама задача возникает лишь тогда, когда материальные условия ее решения уже имеются налицо, или, по крайней мере, находятся в процессе становления» [9, стр. 7]. Сама современная наука должна быть представлена таким образом, чтобы генезис новых задач в ней выступал закономерным, связанным с ее собственным имманентным движением. Другими словами, мы рассматриваем науку как целостное образование, а это значит, что появление нового или модификация каких-то составляющих в ней не может мыслиться как чисто механическое превращение, а тот или иной отдельно рассматриваемый фактор (в данном случае — механизм постановки задач) оказывается не только ведущим, определяющим, но в то же время и зависимым от всей совокупности остальных факторов.

В некоторых исследованиях переход к системным методам изучения объектов науки и техники рассматривается как результат осознания неудовлетворительности аналитических, механистических методов науки прошлого. Это, безусловно, справедливо, но объясняет только факт *отказа от* механистического мировоззрения, а не факт *перехода к* специфически системному представлению изучаемых объектов. Сам же характер ориентации современного научного мышления остается при этом необъясненным.

Таким образом, не отбрасывая обе рассмотренные интерпретации, можно все же отметить их частичный, недостаточный характер. Возникает необходимость пойти дальше, т. е. попытаться представить становление системной ориентации как закономерный итог преобразований, происходящих в самых различных областях человеческой деятельности, и, в частности, таких преобразований, в результате которых усиливаются взаимосвязи, взаимовлияние этих областей друг на друга. Не будем подробно останавливаться на тех изменениях, которые определялись исключительно внутринаучными процессами, — освоение нового эмпирического материала и последовательная смена и разработка целого ряда новых концептуальных конструкций (этой теме посвящается много серьезных, глубоких исследований). В данной работе мы ограничимся рассмотрением влияния, оказанного на формирование системной ориентации некоторыми процессами, происходящими в современной технике, а также в социальной и хозяйственной жизни.

Для этого необходимо прежде всего рассмотреть совокупность процессов, приведших к глубоким изменениям в структуре инженерной деятельности, к ее переориентации. Так, чисто количественное (экспоненциальное, согласно Харту [20]) расширение диапазона средств, приемлемых для решения тех или иных конкретных технических проблем, порождает принципиально новую ситуацию в инженерной практике — наряду с устоявшимися,

отработанными, «классическими» методами возникает «конструктивная методология» (термин, введенный А. И. Каценелинбойгеном [4], но имеющий у него несколько иной смысл). Характерной особенностью такой методологии является относительная независимость, освобождение конструкторского замысла от конкретных средств его реализации.

Прежде, при безраздельном господстве «классического» подхода, конструирование технических устройств базировалось в общем на наличных средствах, которые с самого начала ограничивали возможность инженера, задавали достаточно жесткие ограничения по важнейшим параметрам конструкции — мощности, скорости и т. п. Естественно, характеристики технических устройств все время совершенствовались за счет внедрения конструктивных новшеств и более тщательной отработки существующих технологических приемов, но до какой-то степени, повторяем, этот рост был чисто количественным. Здесь важно отметить, что для инженера средства реализации замысла оказывались чем-то исходным, тем, что определяло угол его зрения.

Однако постепенное расширение диапазона условий, в которых могут успешно функционировать создаваемые конструкции, наряду с разработкой принципиально новых конструкций, приводит к коренным изменениям, к тому, что существующие средства уже перестают выступать в качестве исходного момента по отношению к замыслу. У инженера появляется возможность выбора различных средств для решения той или иной технической задачи — возможность, которая вскоре становится необходимостью выбора, что вводит в процесс конструирования новый этап, предшествующий детальной разработке конструкции. Следовательно, готовое изделие выражает не только существующий уровень развития техники, но и — в гораздо большей степени, чем раньше, — индивидуальность конструктора. Именно поэтому мы и говорим о «конструктивной методологии».

Можно привести множество примеров, показывающих широту возможностей современного конструктора. Так, на смену паровому приводу, бывшему некоторое время назад единственным средством для снабжения энергией промышленных объектов, пришли разнообразные электрические, гидравлические, пневматические приводные устройства, а также двигатели внутреннего сгорания, причем в большинстве случаев диапазоны, в которых могут быть использованы различные по способу действия двигатели, частично перекрываются. Другой пример — разработка большого количества устройств, предназначенных для передачи энергии от двигателей к рабочим органам. Но, пожалуй, самым характерным примером являются успехи материаловедения — получение новых марок стали со специальными свойствами, использование цветных металлов и сплавов, а также неметаллических материалов. Если прежде конструктор исходил из механических свойств относительно небольшого количества ма-

рок стали, то теперь он может подбирать материал, основываясь на условиях эксплуатации и требуемых в связи с этим прочностных и иных характеристиках детали, так что в принципе он совершенно не ограничен с этой стороны.

Несомненно, в процессе инженерной разработки, когда первоначальный замысел воплощается в конкретном материале, последний задает существенные ограничения, зачастую заставляя пересматривать исходные параметры. Иными словами, конструктор, в конечном счете, не является полностью свободным от существующих средств реализации замысла. Но для нас главным является то, что средства реализации теперь *осознаются* именно в качестве *средств*, и притом *различных*.

Между прочим, осознанию этого факта способствовало происходящее в связи с ним усложнение конструкторского труда. Раньше этот труд носил более традиционный характер — ведь в каждой новой конструкции воспроизводилась значительная часть предыдущей, что давало возможность сосредоточить основные усилия на разработке относительно небольшого числа новых элементов. Но при конструктивном подходе, когда движение мышления направлено по преимуществу от идеи, замысла к реализации, на каждой стадии проектирования приходится рассматривать, как правило, несколько альтернативных вариантов и выбирать один из них. Такое усложнение инженерной деятельности отражено, в частности, в разделении на «генералистов» и «специалистов», характерном именно для тех разработок, где наиболее широко применяется «конструктивный» подход, спецификой которого и обусловлено появление «генералистов».

Отметим, что нарисованная нами картина является известной идеализацией — фактически основная масса конструкторской работы и в настоящее время осуществляется на базе «классической» методологии, тем более, что целый ряд дополнительных факторов препятствует широкому внедрению конструктивного подхода. Поэтому наибольшее распространение конструктивная методология имеет при реализации космических и оборонных проектов, когда экономические соображения отступают на задний план. Кроме того, в этих областях менее существенно влияние традиционных методов конструирования. Однако сам факт появления такой методологии и, что еще более важно, осознание этого факта вызывает далеко идущие последствия. Действительно, переход к конструктивной методологии неизбежно заставляет обратить внимание на функциональные взаимоотношения отдельных частей, узлов в рамках целостной конструкции. Более того, одним из основных представлений в конструктивной методологии является, как мы это старались показать, представление о целом (замысле, идее), которое логически предшествует своим частям. Конкретные элементы конструкции при этом рассматриваются именно как части целого. Но ведь это положение, с теми или иными оговорками, принимается всеми методологическими направлениями.

ми, опирающимися на системную ориентацию. Мы отнюдь не хотим сказать здесь, что оно перенесено в науку из инженерной практики — оно известно по крайней мере со времен Платона, да и механизм заимствования едва ли так примитивен, тем не менее можно утверждать, что в данном случае речь идет о чем-то большем, чем простое совпадение.

Новый подход к проектированию технических систем стимулирует еще один важный процесс — более глубокую, хотя отнюдь не абсолютную, дифференциацию науки, более четкое противопоставление теоретических и прикладных исследований. Дело в том, что прикладные исследования теперь непосредственно переплетаются с техникой, наука в своей прикладной функции начинает привлекаться для обслуживания крупных инженерных разработок, для преодоления «узких мест», неизбежно возникающих на разных стадиях конструирования. При этом научная деятельность организуется совершенно иначе, чем это было в «классической» науке — ведь конечный результат исследования задан заранее и необходимо найти средства, конкретный характер которых, вообще говоря, ограничивается не столь жестко. Таким образом, ориентация деятельности инженера-конструктора и ученого, осуществляющего прикладные исследования в рамках некоторого глобального проекта, оказывается однотипной в том смысле, что для обоих конечная цель является более определенной, чем средства. Различие лишь в том, что инженер осуществляет выбор из числа существующих средств реализации, тогда как ученый создает новые средства. Это различие, однако, мы можем оставить в стороне. Очевидно, что такое тесное взаимодействие науки и техники является важным фактором, способствующим проникновению в науку элементов конструктивной методологии. Ярким примером влияния методологии прикладных разработок на теоретические исследования может служить научная деятельность Н. Винера (см., например, [3, стр. 213—264]).

Характерным феноменом, демонстрирующим сближение инженерного и научного стилей мышления, является зарождение и распространение комплекса идей, связанных с кибернетикой и, особенно, бионикой. Этот процесс, в немалой степени способствовавший становлению единого подхода к сложным объектам самой различной природы, выступает не только как показатель, но и как один из компонентов движения, в результате которого сформировалась системная ориентация. Нам нет необходимости подробно останавливаться на этом вопросе, поскольку он достаточно полно рассмотрен в научной литературе. Отметим лишь один момент. Еще в начале XX в. А. Бергсон, развивая противопоставление инстинкта интеллекту, рассматривал различие между живой природой и создаваемыми человеком устройствами с точки зрения конструктора, сравнивая средства, используемые для решения сходных задач. Согласно Бергсону, если для инстинкта характерно неразрывное единство строения и функции, единство

материала и формы, то в технической практике человека форма выступает как нечто внешнее по отношению к материалу, навязанное ему: «Оно (действие и, в особенности, производство) хочет, чтобы мы рассматривали всякую данную форму вещей, в том числе и естественных, как искусственную и временную, чтобы наше мышление уничтожало в намеченном объекте, хотя бы он был органический и живой, те линии, которые показывают вовне его внутреннюю структуру, наконец, чтобы мы считали его материю безразличной по отношению к его форме. Вещество в целом должно казаться нашей мысли, как огромная ткань, из которой мы можем выкраивать, что нам нужно, и сшивать, как нам захочется» [1, стр. 137].

В несколько модифицированном виде то же сопоставление можно проследить и в современной науке. Причем, если у Г. Цопфа оно выступает в контексте критики большинства существующих подходов к моделированию биологических и вообще естественных систем [13], то Кремянский [7, стр. 277] видит здесь различие между двумя типами организации. Благодаря такому подходу открываются возможности для принципиально новых способов применения биологических прототипов в технических конструкциях — та или иная функция моделируется не непосредственно, а через моделирование соответствующей ей структуры, на базе которой уже и реализуется требуемая функция. В качестве одного из примеров проводимых в этом направлении работ можно сослаться на описанный Г. Паском процесс выращивания металлических нитей в ходе электролиза [10]. Таким образом, некогда рассматривавшееся Бергсоном различие конкретизируется, исследуется более детально, и больше того, оно уже не выступает как непроходимый барьер, как неизбежное ограничение руководимой интеллектом технической деятельности, поскольку предпринимаются попытки использования в этой деятельности принципов, которыми руководствуется в своем конструировании природа. Подобная ситуация свидетельствует не только об установлении более тесных связей между наукой и техникой, но, как уже говорилось, и об известном сближении инженерного и научного образов мышления.

Другим фактором, оказавшим существенное влияние на становление системной ориентации, можно считать некоторые процессы, происходившие и происходящие в настоящее время в сфере социальных отношений. Мы рассмотрим, в частности, изменение взглядов на хозяйственную политику государства.

В XIX и в начале XX в., как известно, эти вопросы рассматривались под углом зрения идеологии *«laissez faire»*, восходящей еще к Адаму Смиту. Ядром этой идеологии была доктрина о невмешательстве государства в экономическую жизнь. Последняя же трактовалась как механизм, саморегулирующийся благодаря наличию свободного рынка. Несомненно, реальное взаимодействие между капиталистическим государством и экономикой,

особенно в эпоху монополистического капитализма, было гораздо более сложным и едва ли соответствовало этой доктрине. Нам, однако, важно здесь то, как эти отношения осознавались.

Впервые сознательный поиск новых способов взаимоотношений государственной власти с экономической жизнью общества был начат в нашей стране. Достаточно обратиться к последним работам В. И. Ленина, чтобы почувствовать, насколько неотложными были эти проблемы, вырастающие из самой практики социалистического строительства, которое не может строиться на базе стихийной рыночной регуляции. Неизбежно встает вопрос о способах организации такой сложной системы, которая должна рассматриваться при этом именно как *сложная система*. С другой стороны, хозяйство не может быть организовано и на механической основе путем полного подчинения всех частей целому, в связи с чем возникают проблемы взаимосвязи, взаимодействия отдельных частей в рамках сложной системы. Интересно, что подход к проблеме государственного регулирования экономики сходен с «конструктивной методологией» в том смысле, что и здесь осуществляется выбор некоторой совокупности средств в ситуации, в которой цели являются более определенными, чем средства. Другими словами, и в этом случае систему необходимо сконструировать.

Принципиально иным путем происходил распад идеологии «laissez faire» в западных странах. «Великая депрессия» 1929—1933 гг. со всей наглядностью продемонстрировала несостоятельность политики и идеологии «невмешательства государства в экономику» [см. 5, стр. 5—7]. В это время выдвигается целая лавина различных проектов регулирования хозяйственной жизни общества, в основном дилетантских и потому фантастических (см., например, [18]); тем не менее начинают предприниматься практические шаги в этом направлении. И здесь неизбежно приходится осознать, что экономическая сфера, как и все общество в целом, представляет сложную систему, даже минимальное регулирование которой предполагает ее предварительное изучение. Складывается ситуация, в которой для проведения каких-либо серьезных практических мероприятий необходимо принять определенные предпосылки, характерные именно для системной ориентации, причем принять сознательно. Рассматриваемые здесь идеологические изменения в первую очередь отражались на мышлении социологов и экономистов, хотя бы потому, что они начинают привлекаться для исследования проблем, связанных со способами регулирования хозяйственной жизни. Однако, как указывает В. И. Кремянский [7, стр. 120—121], влияние этих изменений было более широким и сказалось, в частности, на развитии биологии.

Описанные нами процессы наряду с теми преобразованиями, которые были вызваны необходимостью объяснить новый фактический материал в той или иной научной дисциплине, и с неудовлетворенностью существующими теоретическими построениями

(что можно проследить в таких весьма далеко отстоящих друг от друга областях науки, как, например, биология, лингвистика, психология, антропология и т. д.) привели к становлению системной ориентации как специфического феномена современного научного мышления.

Прежде чем перейти к более подробному анализу системной ориентации, отметим следующее. Выделяемые нами отдельные аспекты этого феномена можно обнаружить в исследованиях, проводившихся в достаточно далеком прошлом, так что, рассматривая эти аспекты сами по себе, мы отнюдь не имеем в виду нечто совершенно новое. Но интересно то, что ныне эти аспекты выступают в форме довольно упорядоченной совокупности и что сама эта совокупность не есть достояние того или иного исследователя, а представляется нормой, которая именно вследствие своей общепринятости не всегда осознается.

Наиболее очевидным следствием системной ориентации представляется требование рассматривать отдельные стороны исследуемого явления, процесса и т. п. в их соотносительности с некоторым объектом *как целым*. Мы говорим не о том, что изучаемые стороны, части, подсистемы и т. п. должны обязательно выводиться из некоего объемлющего целого, рассматриваться только в своей детерминированности этим целым. Подобная абсолютизация зависимости части от целого приводит к ряду несообразностей. Прежде всего при этом часто упускается из виду относительная независимость, автономия частей, составляющих целое. (Этот вопрос тщательно рассмотрен А. Гулднером [19].) Кроме того, такая тенденция зачастую заставляет игнорировать специфику исследуемой части, те аспекты ее функционирования, которые в принципе не могут быть выведены из целого. Наконец, в некоторых случаях такая установка ведет к реификации, приписыванию статуса онтологической реальности тому или иному общему понятию. При этом действуют два механизма реификации — либо общее понятие, введение которого было правомерно в одном контексте, без дальнейшего анализа начинает употребляться неоправданно широко; либо категории, имеющие смысл только в совокупности связываемых ими понятий, оказываются действующими сущностями. Говоря о соотносительности исследования с некоторым объектом как целым, мы хотим подчеркнуть именно методологическую функцию таких понятий, как *целое*, *система* и т. п., применение которых упорядочивает исследование, позволяет осмысленно употреблять целый ряд соотносимых с ними понятий — мы имеем дело уже не с простым набором терминов, а с организованной совокупностью понятий, т. е. с теоретическим построением. В этом (и только в этом) смысле коррелятами понятий системы можно считать такие понятия, как «уровень анализа» И. Клира [6]; «период жизни системы» К. Васснега [23]; «уровень декомпозиции» М. Тода и Э. Шуфорда [12]. Все эти понятия тем или иным образом характеризуют, очерчивают область исследо-

вания. Так, например, у К. Васспега такие понятия, как структура, организация, программа, поведение, приобретают определенность, становятся взаимосвязанными благодаря их отнесенности к системе как целому, характеризующемуся параметром ΔT — «периодом жизни».

Несмотря на очевидность рассматриваемого требования, во многих случаях бывает трудно выявить ту конкретную систему, с которой фактически соотносится исследование. Более того, нередко приходится специально выяснять, с каким объектом должны быть соотнесены те или иные явления и процессы. Иногда «критерий уместности» такого соотнесения выявляется чисто эмпирически. Так, например, в практике борьбы с насекомыми — вредителями сельскохозяйственных растений применение химических методов уничтожения вредителей в некоторых случаях было безрезультатным или даже приводило к увеличению численности вредителей, хотя предварительные лабораторные испытания показали высокую эффективность используемых химикатов [14]. Как выяснилось, одна из причин неудач крылась именно в неправильном выборе объекта соотнесения — ведь в естественных условиях данный вид насекомого-вредителя включен в сложную систему отношений с другими видами — хищниками, паразитами и т. д. Игнорирование этого факта и приводило к таким неожиданным результатам, поскольку ядохимикаты оказывают на данный вид не только непосредственное, но и опосредованное воздействие, изменяя всю систему межвидовых экологических отношений, причем такое опосредованное воздействие может быть сильнее, чем непосредственное. Значительно сложнее проблема выбора объекта соотнесения оказывается в том случае, когда характер исследования не позволяет провести непосредственную эмпирическую проверку. Очевидно, решение этой проблемы определяется тогда отношением к таким более общим, кардинальным проблемам, как выявление критериев истинности теоретической конструкции и принципов функционирования ее в более широком контексте.

Ныне часто говорят о том, что современная наука (или вообще наука) исследует не вещи, а процессы, или отношения, или свойства, или связи. Мы отнюдь не хотим противопоставить что-либо этому тезису, однако, на наш взгляд, его использование требует некоторой осторожности. Необходимо четко различать вопрос о том, *что* исследуется, и вопрос о том, *как* нечто исследуется. Так, У. Бакли выделяет в качестве особенно важного для современной социологии положение, которое он считает характерным для системного подхода, о процессе как о чем-то более исходном, первичном по сравнению со структурой исследуемого объекта [17]. Нам представляется, однако, что в настоящее время едва ли методологически правомерно и даже возможно такое направление исследования — от процесса к структуре. Напротив, существующий концептуальный аппарат заставляет опираться

именно на структурные представления об исследуемом объекте даже тогда, когда изучаются процессы. Важно подчеркнуть также, что рассматриваемое нами требование соотнесенности ничего не говорит о характере объекта, который может быть исследован в каком-либо конкретном случае, — нас интересуют лишь способы, аппарат исследования, причем именно в той степени, в какой они не зависят от конкретного объекта, а определяются современным «научным климатом».

Следующей чертой, характеризующей системную ориентацию, является представление об исследуемом объекте как о *сложной системе*. В принципе любой объект можно рассматривать, как это делается, например, в кибернетике, в качестве преобразователя, в который поступают входные сигналы, или стимулы, и который отвечает на них выходными сигналами — реакциями. Можно попытаться построить классификацию преобразователей по степени сложности. В простейшем случае, например, на вход преобразователя поступает произвольное число, а на выходе мы получаем произведение этого числа на два. Здесь, очевидно, выход однозначно детерминирован входом. Более сложным будет преобразователь, выход которого зависит не только от входного сигнала, но и от внутреннего состояния, т. е. преобразователь, обладающий «памятью». В этом случае уже нет однозначного соответствия между входом и выходом, и чем более выход зависит от внутреннего состояния системы, тем менее эффективным оказывается метод «черного ящика» (см. [11, стр. 71—72]). Наконец, для наиболее сложных по нашей классификации систем внутреннее состояние оказывается решающим фактором при формировании выходного сигнала. Относительное значение стимула при этом невелико — он служит лишь «спусковым крючком», запускающим сложный механизм и, почти всегда найдется такое событие, которое выступит в роли «спускового крючка», если система «подготовлена» к соответствующему преобразованию. Во всяком случае, зная только вход (мы сейчас отвлекаемся от проблем, связанных с определением входа и выхода у сложных систем), практически трудно сказать что-либо о характере соответствующего ему выхода.

Рассматриваемая классификация интересует нас не в плане выявления оснований для подведения какого-либо конкретного объекта под ту или иную рубрику, а с точки зрения тех следствий методологического порядка, которые влечет за собой такое подведение. На наш взгляд, то, к какому из выделенных здесь классов относят исследуемый объект, предопределяет некоторые существенные шаги в дальнейшем процессе исследования. В частности, если объект представляется как простой преобразователь, то все происходящее в нем процессы объясняются исключительно влиянием окружающей среды, причем исследуемая система выступает как слепок с условий окружающей среды. В той мере, в какой учитывается сложность объекта, эта схема модифицирует

ся. Первое усложнение ее связано с обращением к понятию адаптации — в этом случае, конечно, среда выступает в качестве ведущей по отношению к системе, но тем не менее исследование приспособительных реакций заставляет обратиться к выявлению специфических для данного объекта способов адаптации. Дальнейшая модификация этой простейшей схемы может происходить в двух направлениях. Либо основное внимание обращается на среду, которая в таком случае выступает не как что-то нерасчлененное, действующее без всяких закономерностей. Среда становится теперь внутренне упорядоченным целым, а ее воздействия на систему должны быть представлены как необходимые. Наконец, речь может идти даже о взаимодействии двух систем — данного объекта и среды, а не только о воздействии среды на систему. Среда теперь не есть все то, что лежит вне системы, а партнер системы, т. е. до некоторой степени определенное, ограниченное целое, не только действующее, но и само подвергающееся воздействиям, преобразуемое системой. При этом существенно ограничивается сфера применимости понятия адаптации — ведь система, изменяя среду, тем самым в какой-то степени лишает себя возможности действовать на основе прошлого опыта.

Другое направление трансформации простейшей схемы «система — среда» связано с перемещением фокуса на процессы, происходящие внутри системы, — это естественно, если система рассматривается как сложный преобразователь в указанном выше смысле. В таком случае неизбежно возникают проблемы, касающиеся способов расчленения исследуемого объекта, — поскольку характер стимула оказывает мало или совсем не оказывает влияния на процессы в системе, становится необходимым на место представлений о системе как о черном ящике поставить представления о ней как о внутренне расчлененном, упорядоченном целом, обладающем характеристиками, которые не могут быть поняты и объяснены, если мы исходим только из среды или из системы, внешней по отношению к исследуемой системе.

Можно говорить об известной корреляции между степенью изученности того или иного сложного объекта и выбором одной из представленных нами схем, т. е. о том, что по мере изучения сложный объект все в большей степени выступает именно как сложный. Мы не хотим сказать, что та или иная из более сложных схем полностью вытесняет и замещает более простую. Фактически в любом исследовании можно обнаружить представления, характерные для каждой из рассмотренных методологических установок. Однако — и это один из важных моментов, характеризующих системную ориентацию, — в настоящее время при изучении сложных систем акцент все в большей мере переносится на исследование взаимосвязей, взаимовлияний *внутри* исследуемого объекта. Простейший пример — вспомним такие концепции, как характерное для французского материализма представление о

человеке исключительно как о продукте внешних обстоятельств, или социологические построения, объясняющие социальные отношения через внешние факторы — влияние географических условий, климата и т. п., или через внутренние факторы, которые по сути дела выступали как внешние (экономический детерминизм, демографическое направление). Сейчас эти концепции воспринимаются научным мышлением как анахронизмы, которые просто некорректно было бы серьезно анализировать с позиции сегодняшней науки, причем не последнюю роль в этом играет рассматриваемая нами переориентация, связанная с изменением исходных установок и соответствующими методологическими трансформациями.

Отметим еще, что налагаемое системной ориентацией требование рассматривать исследуемый объект как сложную систему выступает в качестве фактора, определяющего возможные границы упрощения. Действительно, ведь переход к более простой логической схеме осознается именно как недопустимое упрощение, поскольку то, что можно получить ценой такой редукции, выглядит банальным, примитивным. Поэтому упрощения, которые неизбежно приходится проводить в ходе исследования, не должны выходить за те пределы, которые задаются принятыми представлениями о сложности изучаемого объекта.

Следующая особенность современного научного мышления, которая может быть представлена как один из аспектов системной ориентации, связана с конкретизацией представлений о внутренней упорядоченности отношений и связей между частями, на которые расчленяется исследуемый объект. Объект, таким образом, выступает не только как сложная, но и как *организованная* система. В связи с этим, очевидно, характер процессов, протекающих в системе, детерминируется ее структурой, понимаемой как совокупность устойчивых отношений и связей между элементами системы. Таким образом, в идеале, зная во всех деталях структуру исследуемой системы, довольно легко было бы определить характер и направление происходящих процессов. Дело, однако, в том, что в реальной познавательной ситуации мы, как правило, бываем весьма далеки от такого идеала. В связи с этим возникает вопрос, в каком же отношении к структуре системы находятся наличные *структурные представления*.

Очевидно, существенным моментом структурных представлений является характер расчленения исследуемой системы. Но эта проблема требует специального анализа, уводящего довольно далеко в сторону от рассматриваемых здесь вопросов, так что мы, опираясь на результаты, полученные в другой работе [16], просто примем это расчленение как данное. В ходе исследования, основываясь на том или ином расчленении, выявляются взаимосвязи между выделенными элементами структуры. Именно эти взаимосвязи мы и будем считать исследуемой «переменной». Вообще говоря, здесь возможны две методологические установки: соглас-

но первой, выявляя взаимосвязи, мы тем самым определяем, что должно происходить; согласно второй, напротив, мы выясняем, чего не может произойти в данной системе. Иначе говоря, первая установка исходит из того, что траектория исследования проходит по границе, отделяющей необходимо происходящее от возможного; при второй установке исследование рассматривается как отграничение того, что вообще не может случиться в силу внутренних структурных ограничений, присущих данной системе, от того, что возможно с точки зрения имеющихся у нас знаний о системе. В первом случае мы в состоянии сразу определить действительное направление происходящего процесса; во втором случае мы сможем однозначно определить направление процесса лишь после того, как покажем, что все другие мыслимые направления являются объективно невозможными.

По-видимому, осознание рассматриваемой альтернативы произошло относительно недавно, и в какой-то мере связано с появлением системной ориентации. На начальных стадиях исследования какого-либо сложного объекта вследствие малой расчлененности представлений о нем едва ли может возникнуть сомнение в том, что выявить область необходимо происходящего сравнительно нетрудно. Однако по мере того, как вырабатываются достаточно расчлененные представления об исследуемом объекте, выявление такой области становится все более сложной проблемой. К примеру, в начальный период развития социологии именно такая нерасчлененность объекта позволяла с легкостью устанавливать (и с не меньшей легкостью забывать) всякого рода формулы и законы прогресса. Одним из опорных пунктов этой методологии был лапласовский детерминизм с его тезисом об абсолютной необходимости всего происходящего — тезисом, принятие которого ведет к игнорированию реально достигнутого в данный момент уровня познания исследуемого объекта и стремлению сразу получить полное и исчерпывающее знание о нем. В социологии и в истории это приводило, в конечном счете, к «вульгарному историческому детерминизму» (см. [8, стр. 226—277]). Несостоятельность такой методологии как раз и обнаруживается наиболее четко при попытках перейти от реконструкции того, что уже произошло, к прогнозированию будущего. Поскольку речь идет о прошлом, логические слабости могут быть скрыты — как правило, не составляет большого труда найти *какое-либо* объяснение тому, что случилось. Но при конструировании схем будущего развития объекта становится очевидным, что, исходя из принятого расчленения объекта, необходимо прежде всего выявить ту степень определенности (или, скорее, неопределенности), которая проистекает из характера существующих представлений о структуре исследуемой системы.

Интересно проследить, как в самых различных областях знания происходил поворот к установке, согласно которой реальное движение познания выступает как выявление объективно невозможных для данного объекта состояний или траекторий. В физике

впервые на это обратил внимание В. Гейзенберг, отмечавший, что физические законы фактически выражают невозможность каких-либо процессов или явлений, т. е. являются запретами. В том же направлении изменилась концепция естественного отбора — один из центральных пунктов эволюционной теории в биологии. В современном толковании естественный отбор понимается не как «выживание наиболее приспособленных», а как «уничтожение неприспособленных» [21] — такая формулировка значительно более осторожна, так как она не предпрещает однозначно направление изменения, а имеет в виду довольно широкий спектр возможностей. Р. Мертон, рассматривая «ограничивающее влияние социальных структур», фактически выделяет (хотя специально не фиксирует) два различных аспекта. Прежде всего он говорит об ограничениях, запретах, налагаемых структурой, критикуя за непонимание этого момента утопическое мышление. Наряду с этим он не упускает из виду и то, что структурные ограничения в общем случае могут, не будучи абсолютно жесткими, очерчивать лишь некоторую более или менее широкую сферу, в пределах которой возможно осуществление одного из нескольких различных вариантов хода событий (см. [22, стр. 53]).

Наиболее общей, однако, можно считать ту форму, в которой аналогичная установка формулируется в кибернетике. Так, У. Росс Эшби различает «реальный мир» и «пространство возможностей»: «Реальный мир образует подмножество, заключающее то, что *существует*, тогда как пространство возможностей представляет неопределенность, с которой сталкивается *наблюдатель*» [15, стр. 317]. При этом пространство возможностей является исходным, характеризуя наблюдателя, который, основываясь на том или ином расчленении исследуемой системы, переходит к выявлению взаимозависимостей между частями. Тогда «наличие «организации» между переменными эквивалентно существованию *ограничений* в пространстве возможностей» [15, стр. 316—317]. В связи с этим следует отметить, что само «пространство возможностей» не является данным а priori, вневременно. Оно формируется на основании того или иного расчленения исследуемого объекта и изменяется, если мы переходим к новому, более детальному расчленению. В этом смысле оно не только «характеризует наблюдателя», но является объективной характеристикой существующих представлений о данной системе. Чем глубже познается объект, тем шире становится пространство возможностей, тем больше возможных вариантов необходимо рассматривать в исследовании, тем сложнее становится задача реконструкции прошлого или предсказания будущего состояния. Такова цена, которую приходится платить за уточнение и конкретизацию научных представлений.

Таким образом, для современной науки в целом характерен переход от представлений о структуре как о том, что однозначно детерминирует, предписывает тот или иной ход событий, к представлениям о ней как о совокупности ограничений, накладываемых на

«степени свободы» отдельных элементов системы, — ограничений, возникающих вследствие организованности элементов в рамках целого.

Мы выделили и проанализировали ряд требований, которые, на наш взгляд, характерны для современного научного мышления. К их числу относятся: необходимость отнесения изучаемого явления или процесса к некоторому целому; необходимость учитывать сложность исследуемых объектов и процессов, что заставляет делать упор не столько на внешнем источнике, «вызывающем» то или иное явление, сколько на исследовании его внутрисистемной детерминации; необходимость рассматривать данный сложный объект как внутренне упорядоченное, структурированное целое — отсюда следует представление о некоторой ограниченной области возможных состояний и возможных преобразований объекта. Очевидно, не все эти требования реализуются в равной мере, они обладают различной степенью нормативности; более того, не всякое исследование, в том числе и претендующее на название «системного», удовлетворяет этим требованиям. Но это и понятно — ведь мы говорили об ориентации, а не о жесткой, однозначно детерминирующей структуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бергсон А. Собрание сочинений, т. 1, изд. 2. Пб., б/г.
2. Блауберг И. В., Юдин Э. Г. Философские проблемы исследования систем и структур. — «Вопросы философии», 1970, № 5.
3. Винер Н. Я — математик. М., 1964.
4. Кацнелинбойген А. И. Методологические проблемы управления сложными системами. — Проблемы методологии системного исследования. М., 1970.
5. Кацнелинбойген А. И., Лахман И. Л., Овсиенко Ю. В. Оптимальность и товарно-денежные отношения. М., 1969.
6. Клир И. Абстрактное понятие системы как методологическое средство. — «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
7. Кремянский В. И. Структурные уровни живой материи. М., 1969.
8. Левада Ю. А. Историческое сознание и научный метод. — «Философские проблемы исторической науки». М., 1969.
9. Маркс К. и Энгельс Ф. Сочинения, т. 13.
10. Пасе Г. Естественная история цепей. — «Самоорганизующиеся системы». М., 1964.
11. Рапопорт А. Различные подходы к общей теории систем. — «Системные исследования. Ежегодник 1969». М., 1969.
12. Тода М., Шуфорд Э. Х. Логика систем: введение в формальную теорию структуры. — «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
13. Цонф Г. Отношение и контекст. — «Принципы самоорганизации». М., 1966.
14. Шовен Р. Мир насекомых. М., 1970.
15. Эшби У. Р. Принципы самоорганизации. — «Принципы самоорганизации». М., 1966.
16. Юдин Б. Г. Понятие целостности в структуре научного знания. — «Вопросы философии», 1970, № 12.

17. *Buckley W.* Sociology and Modern Systems Theory. Englewood Cliffs, N. J., 1967.
18. *Fairchild H. P.* General Sociology. N. Y., 1934, ch. XXVI.
19. *Gouldner A.* Reciprocity and Autonomy in Functional Theory.— «Symposium on Sociological Theory». N. Y., 1959.
20. *Hart H.* Social Theory and Social Change.— «Symposium on Sociological Theory». N. Y., 1959.
21. *Huxley J.* Evolution. The Modern Synthesis. London, 1963.
22. *Merton R. K.* Social Theory and Social Structure. 2-d ed., N. Y., 1967.
23. *Vasspeg K.* On Organizing of Systems.— «Information Processing Machines», v. 11, Prague, 1965.

НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ

В. Н. САДОВСКИЙ

Исследования по общей теории систем насчитывают к настоящему времени более четверти века своего существования и включают достаточно большое число работ. Несмотря на это, вопрос о *природе* общей теории систем все еще остается весьма далеким от разрешения. В настоящей работе мы предпримем попытку выявления специфики постановки задач общей теории систем. Для этого нам придется проанализировать конкретные формы, в которых выступают системные идеи в разных областях науки и техники, и сопоставить различные представления системного подхода. Для прояснения специфики общей теории систем мы не только рассмотрим ее функции и взаимосвязи с другими сферами системных исследований, но и на примере определения понятия «система» в контексте общей теории систем проиллюстрируем *метатеоретический характер этой концепции*.

Различные представления системного подхода и специфика предмета общей теории систем

Хорошо известно, что в последние годы в рамках технических, прикладных дисциплин — в прикладной математике, в различных разделах кибернетики, в системотехнике и системном анализе и т. д. — много говорится о так называемом «системном подходе», «системном движении», «системном методе исследования». Эта терминология и лежащие в ее основании теоретические представления (сразу же подчеркиваем весьма характерный разнобой в их истолковании различными исследователями) сегодня являются не только непременным введением в освещение буквально любых результатов разработок в этих областях науки и техники, но они действительно существенно изменили облик современных прикладных, технических дисциплин.

В период второй мировой войны и особенно в послевоенное время практические разработки технических сооружений с очевидностью продемонстрировали, что проектируется и создается не не-

кое техническое изделие (пусть даже и очень сложное), а весь комплекс материальных и организационных условий, необходимых для успешного функционирования данного изделия. Более того, в процесс проектирования такого изделия должно быть включено в качестве важного компонента и *проектирование* самого *процесса проектирования*. Одним из результатов этого осознания явилось введение в широкий обиход представлений о технической системе — некотором чрезвычайно сложном образовании, включающем в себя и создаваемые машинные компоненты, и человека — оператора, работающего с ними, и множество внешних условий, без которых создаваемая конструкция не может существовать, и, наконец, в определенной степени организацию самого процесса создания такого сложного комплекса. Современная техника, таким образом, выступает как техника систем, прежде всего как *техника больших систем*. Что же касается ее теоретического описания, то в рамках системотехники и связанных с нею дисциплин основное внимание теперь уделяется проблемам управления, оптимизации, распределения функций между машинными и человеческими компонентами системы, выбору технического решения, вопросам эквивалентного преобразования систем, описанию динамики систем и т. д.

Существенное влияние на формирование системного подхода в технике оказало развитие кибернетики. Разработанные в ее рамках методы анализа управления и связи в объектах разной природы, понятия обратной связи и гомеостазиса, аппарат теории информации и т. д. — весь этот арсенал теоретических средств не только нашел широкое поле приложения в современных технических разработках, но и способствовал кристаллизации идей системного подхода. Небезынтересно в этой связи привести мнение (хотя далеко не во всем бесспорное) Л. Заде из его статьи «От теории цепей к теории систем»: «Если у кого-нибудь спросить имя ученого, открывшего концепцию теорий систем, то, несомненно, был бы назван Ноберт Винер, хотя Винер сам не занимался теорией систем как таковой и не применял термина «теория систем» [6, стр. 890].

Возникает вполне естественный вопрос о содержании, которое в настоящее время вкладывается в понятия «теория систем» и «системный подход». В исследованиях, выполненных в кибернетическом и системотехническом духе, мы находим более или менее очевидный ответ на этот вопрос. Так, например, Г. Кастлер в работе с характерным названием «Общие принципы системного анализа» усматривает суть системного подхода в общности структуры четырех формальных теорий организации — кибернетики, теории игр, теории решений и теории связи (информации) [37]. Используя для своего рассмотрения понятия черного ящика и белого ящика (белый ящик — это система известных компонентов, соединенных известным образом так, чтобы осуществлять заданное входно-выходное функционирование), Г. Кастлер показывает, что исследовательская ситуация в случае упомянутых теорий организации

может быть описана путем представления анализируемых систем в виде белых ящиков определенного вида, а окружающих сред этих систем — в виде четырех ящиков.

В таком же кибернетическо-системотехническом духе дает свой ответ на рассматриваемый вопрос о специфике системного подхода и содержании теории систем Л. Заде. В уже упомянутой работе «От теорий цепей к теории систем» он перечисляет принципиальные задачи теории систем, такие как описание системы, классификация систем, идентификация систем, представление сигнала, классификация сигналов, анализ систем, синтез систем, программирование и управление системой, оптимизация системы, обучение и приспособление систем, надежность систем, проблема устойчивости и управляемости систем [6, стр. 880]. Для позиции, защищаемой Л. Заде, характерно, что он видит основную задачу теории систем в изучении общих свойств систем независимо от их физической природы и в этой связи в качестве разделов такой теории, хорошо разработанных уже к настоящему времени, называет теорию цепей (линейных и нелинейных), теорию управления, теорию сигналов и теорию машин и автоматов с конечным числом состояний.

Развивая свою позицию в более поздней работе [44], Л. Заде сопоставляет два возможных подхода к теории систем. Согласно первому, теория систем — это просто совокупность различных математических средств для системного анализа, в соответствии со вторым, который разделяет и он сам, теория систем представляет собой самостоятельную научную дисциплину, задача которой состоит в разработке общей абстрактной основы и единого концептуального каркаса для изучения поведения различных типов и классов систем. Понимаемая в последнем смысле, теория систем интересуется прежде всего математической структурой систем и ее главная цель состоит в исследовании оснований для построения специальных системных концепций [44, стр. VII].

Мы специально весьма подробно охарактеризовали взгляды Г. Кастлера и Л. Заде по рассматриваемому вопросу, так как они наиболее явно и четко выражают общую тенденцию теоретического осознания системного подхода и теории систем в современных научно-технических кругах. При всем очевидном различии позиций названных авторов и даже так сказать различной ориентации, направленности их рассуждений они с несомненностью демонстрируют некоторое общее ядро, связанное со стремлением представить основы теории систем путем теоретического обобщения задач и результатов цикла современных технических и прикладных дисциплин, прежде всего кибернетики и ее многочисленных ответвлений (см. также [5], [32]).

Для того чтобы более полно и глубоко разобраться в содержании системного подхода и теории систем, мы должны обратиться особое внимание на то, что современная техника — техническое производство и обслуживающие его научные дисциплины — важный, но далеко не единственный источник системных идей. Одновре-

менно (в некоторых случаях даже и раньше) с осознанием технических объектов как систем (и вытекающей отсюда задачей поиска методов их исследования и конструирования) аналогичный процесс прошел и в других сферах человеческой теоретической и практической деятельности. Здесь в первую очередь следует назвать биологию и психологию, лингвистику и социологию, экономическую науку, многочисленные социально-экономические проблемы, включая прогнозирование, оптимизацию и т. д. тех или иных социальных процессов. В последнее время системные идеи проникли (и вызвали ответную реакцию) также в физику, химию, медицину и т. д. и по сути дела охватывают сегодня весь спектр современных научных дисциплин. Но дело не ограничивается только наукой в собственном смысле этого слова: ныне хорошо известно, какую роль играют системные принципы в исследовании проблем организации производства, вопросов оценки эффективности научно-исследовательских и конструкторских разработок и т. д.; работы последних лет по организации научно-исследовательской и иных форм человеческой деятельности также исходят из системной постановки своих задач. Наконец, системные предпосылки в настоящее время широко используются в различных формах осознания науки и научной деятельности — в логике и методологии науки, в науковедении, в философии. Поэтому можно с полным основанием согласиться с Л. фон Берталанфи, который в одной из своих последних работ воскликнул «системы повсюду» [2, стр. 30].

Отсюда следует, что наряду с рассмотренным (на примерах Л. Заде и Г. Кастлера) «техническим» способом задания теории систем возможны и иные варианты формулирования идей системности и системного подхода. В литературе выражены, в частности, различного рода «биологические» (В. И. Кремянский [8], К. М. Хайлов [21], А. А. Ляпунов [11], А. А. Малиновский [12], К. Уотт [40] и др.), «психологические» (Ж. Пиаже [36], Г. Оллпорт [23] и др.), «лингвистические» (И. И. Ревзин [16], Г. П. Мельников [13] и др.), «социологические» (П. Сорокин [39], У. Бакли [28] и др.) подходы к этой проблеме. В самое последнее время широкое распространение получило представление системного подхода на основе методов системного анализа [15].

Аналогично тому, как это делается при «техническом» подходе, каждое другое специализированное представление теории систем ориентируется на *вполне определенный* (и поэтому *ограниченный*) класс объектов и на достаточно четко *выделенную* группу познавательных задач. Хотя при этом нередко выдвигаются и рассматриваются тезисы достаточно обобщенного характера, реальная экспликация по существу дается лишь использованию системных идей в избранной области знания; проблема же обобщенного, методологического статуса системного подхода остается открытой.

Практически повсеместная распространенность системных идей в современной научной и практической деятельности заставляет нас в поисках ответа на вопрос о специфических особенностях си-

стемного подхода и теории систем выйти за рамки специализированного рассмотрения проблем технически-прикладных, биологических или социальных научных дисциплин. Системный подход является *междисциплинарным* по своему характеру, что, в частности, означает, что на интересующие нас вопросы мы сможем получить ответы, лишь встав на такую обобщенную, междисциплинарную точку зрения. И именно в таком контексте и появляется идея *общей теории систем*, имеющая к настоящему времени достаточно длительную (более четверти века) и весьма поучительную историю*.

Возникновение концепции общей теории систем связано с научной деятельностью Л. фон Берталанфи ([2], [27], [10], [17]), хотя у него были весьма многочисленные и много сделавшие в этом направлении предшественники (см. анализ их работ в [3], [9]).

В отличие от специализированного способа задания системного подхода, жестко ориентированного на определенный круг объектов и определенные средства исследования, формулирование задач общей теории систем обычно проводится на гораздо более высоком уровне абстракции, безотносительно к тому или иному типу конкретного содержания. Так Л. фон Берталанфи считает, что общая теория систем имеет дело с формальными характеристиками образований, называемых системами, является поэтому междисциплинарной областью, то есть «может использоваться для анализа явлений, рассматриваемых в различных традиционных областях научной деятельности. Сфера ее применения не ограничивается материальными системами, а относится к любому «целому», состоящему из взаимодействующих «компонентов» [26, стр. 126]. Близкое по духу рассуждение проводит и М. Месарович в своем исследовании оснований общей теории систем. «Общая теория,— по его мнению,— должна быть настолько общей, чтобы ей удалось охватить все различные уже существующие конкретные теории» [14, стр. 18].

Следует отметить, однако, что сам по себе высокий уровень абстрагирования отнюдь еще не выражает специфику постановки задач общей теории систем. Мы уже отмечали, в частности, что, например, у Л. Заде, который проводит свое исследование явно в «техническом» духе, теория систем призвана изучать общие свойства систем независимо от их физической природы, то есть принятый им уровень обобщения весьма высок. Общую теорию систем характеризует не только и не столько крайне высокий уровень анализа, сколько специфический круг поднимаемых в ее рамках проблем и используемый для ее построения аппарат исследования.

* В этой работе мы следуем логическому, а не историческому плану рассмотрения. Исторически разработка проблем общей теории систем началась с конца 40-х годов, т. е. во всяком случае не позже начала исследований в области специализированных теорий систем.

Прежде чем остановиться на этом подробнее, следует рассеять одно недоразумение, возникшее в связи с буквальным толкованием термина «общая теория систем» (впрочем, некоторые теоретики системного анализа дали повод для этого). Согласно такому толкованию, смысл общей теории систем состоит в том, чтобы дать всеобщую теорию, применимую во всех случаях, когда речь идет о системах. Такое понимание характера общей теории систем нельзя считать ясным и строгим. Реальный смысл общей теории систем следует трактовать иначе: «общая» здесь не означает «всеобщая» вообще, а скорее в том или ином виде «обобщенная» применительно к определенным классам задач, теорий и т. д. В таком случае, чем же отличается постановка задач общей теории систем от обобщения системных идей, выраженных в рамках «технического», «биологического» и т. д. представлений системного метода и теории систем?

На наш взгляд, здесь есть существенные различия, которые, кстати сказать, дают основания утверждать корректность постановки задачи построения общей теории систем в указанном смысле. Во-первых, совершенно очевидно, что следует различать *степени обобщения* — и поэтому задача обобщенного представления теоретических и практических процедур «работы» с техническими системами будет значительно отличаться, например, от выявления обобщенных инвариантов, скажем, биологических, социальных и технических систем и методов их исследования.

Во-вторых, следует различать *тип, характер обобщения*. В одном случае нас может интересовать построение абстрактных оснований для рассмотрения некоторого комплекса проблем или даже некоторого множества научных дисциплин (или их разделов) — такая по сути своей систематизирующая задача стоит в случае «технического» или любого другого конкретно-научного представления системного подхода и теории систем. В другом случае — и это специфично для постановки проблем общей теории систем — обобщению подвергаются скорее методы исследования, типы познавательной ситуации, исследовательские средства.

Из сказанного, в-третьих, вытекают различия в *аппарате исследования*, используемом в первом и втором типах обобщенного системного анализа. Если в случае, например, «технического» описания теории систем основной упор делается на средства соответствующих технических, прикладных дисциплин, а при «биологическом» задании системного подхода отталкиваются от совокупности обобщенных биологических понятий и методов исследования (часто в их кибернетической интерпретации), то при проведении исследований в русле общей теории систем используют в основном языки наиболее абстрактных разделов математики (теории множеств, абстрактной алгебры и т. д.), формализмы логики и средства методологического анализа.

Таким образом, сравнительно с задачами разных вариантов специализированных теорий систем в случае общей теории систем речь идет о построении теории более высокого уровня, чем теории

«среднего» уровня, характерные для отдельных системных областей, причем обобщению подвергаются прежде всего методологически-логические задачи и проблемы.

Место общей теории систем в системных исследованиях

Сопоставление общей теории систем с другими направлениями системных исследований поможет нам более полно выявить специфику этой концепции. При этом под «системными исследованиями» (в самом широком смысле слова) понимается вся совокупность современных научных и технических проблем и разработок, которые при всем их разнообразии сходны в понимании и рассмотрении исследуемых ими объектов как систем, то есть как множеств взаимосвязанных элементов, выступающих как единое целое.

Понимаемые таким образом системные исследования в целом сами представляют собой сложную систему взаимосвязанных элементов, в которой прежде всего следует различить *методологический, процессуальный* аспект системных исследований и совокупность *позитивных, конкретных результатов*, получаемых в них. Первый представляет собой «системный подход» или «системный метод», который таким образом можно понимать как эксплицитное выражение процедур представления объектов как систем и способов их системного исследования (описания, объяснения, предсказания, конструирования и т. д.). Естественно, что «системный подход» может выступать в сознании ученых и фиксироваться в соответствующих текстах в весьма различных формах — от эмпирического полунтуитивного описания частных процедур системного исследования и до строгого математического задания общесистемных процедур и методов.

Мы обращаем внимание на то, что «системный подход» здесь истолковывается более широко, чем обычно это делается, особенно в современной технической литературе, где под «системным подходом», как правило, понимают совокупность системных принципов, относящихся к техническим и другим прикладным исследованиям и разработкам. С точки зрения специфики системного исследования процессуальная, методологическая ориентация современной науки и техники принципиально одна и та же и для обозначения ее в целом целесообразно использовать один термин — «системный подход».

Одним из важнейших результатов теоретической разработки проблем системного подхода должна стать систематически построенная «логика и методология системного исследования». Разделяя со всеми другими формами выражения системного подхода направленность на процедуры и методы системного исследования, системная логика и методология имеют дело прежде всего с языком «системной науки»; ее задача состоит в выявлении и описании спе-

цифически системных логических правил вывода и методологические принципы системного исследования.

Вторую сторону системных исследований, а именно — совокупность полученных в них позитивных результатов, будем называть «системными теориями». Совершенно очевидно, что «системные теории» могут существенно различаться друг от друга по характеру общности и по типу научных и технических областей, для описания которых они создаются.

Системные теории в целом целесообразно прежде всего разделить на собственно «научные системные теории», включая и «формальные системные теории» (т. е., иначе говоря, всю совокупность системных теорий, имеющих дело с научным знанием в его самых разных формах), и «прикладные системные теории» (прежде всего технические системные теории), объектами которых выступают современное техническое знание и практическая деятельность.

В рамках «научных системных теорий» очевидно следует выделять многообразные «эмпирические системные теории» типа системной биологии ([21, [40]), системной психологии [25], системной социологии ([39], [28]), системной психиатрии [31] и т. д. и различные «теоретические системные модели» наподобие кибернетики, теории информации, теории игр, теории решений и т. д., получивших в последние годы широкое признание.

Характерными образцами «прикладных системных теорий» являются системотехника, исследование операций, инженерная психология и т. д., а также вызвавший в последнее время большое внимание системный анализ для решения деловых и промышленных проблем [15].

Конечно, нельзя проводить слишком резких граней между собственно научными и прикладными системными теориями; некоторые современные научные дисциплины, например, кибернетика, относятся в своих разных аспектах к обеим сферам системных теорий. В равной степени не существует абсолютного противопоставления между «системным подходом» как методологией и «системными теориями» как множеством позитивных результатов системных исследований. Последнее обстоятельство находит, в частности, свое выражение в характере «общей теории систем».

«Общая теория систем», как мы отмечали, является междисциплинарной областью научного исследования. В ее задачи входит: 1) разработка средств представления исследуемых объектов как систем; 2) построение обобщенных моделей системы и моделей разных классов и свойств систем, включая модели динамики систем, их целенаправленного поведения, исторического развития, иерархического строения, процессов управления в системах и т. д.; 3) исследование концептуальной структуры системных теорий. В таком виде «общая теория систем» выступает, с одной стороны, как обобщение специальных системных теорий, а с другой стороны, имеет много общего с логикой и методологией системного исследования.

Для завершения построения общей картины системных исследований следует, наконец, выделить «философию (философские вопросы) системного исследования». Являясь рефлексией о системных исследованиях в целом, эта сфера знания призвана определить место системных идей в современной науке и практике, исследовать перспективы развития системных исследований. Очевидно, что философский анализ системных исследований наиболее тесно связан с общей теорией систем и с логикой и методологией системного исследования.

Охарактеризованную схему соотношений между различными областями современных системных исследований нельзя рассматривать как чисто конвенциональную; она опирается на результаты исторического опыта развития системного подхода в научной и технической деятельности. Необходимо, однако, отметить, что предложенное понимание задач и специфики общей теории систем скорее выражает *тенденцию, основное направление*, по которому, по нашему мнению, должно пойти развитие общей теории систем, чем реальное состояние исследований в этой области в настоящее время. Что же касается последнего, то сегодня здесь мы сталкиваемся с внушительным многообразием различных позиций, явной или скрытой конкуренцией отличающихся друг от друга подходов, с принципиальной теоретической неопределенностью в исходных установках.

Действительно, если исходная постановка задач общей теории систем у Л. фон Берталанфи (см. [27, стр. 30—53], [26]) весьма близка к той, которую мы охарактеризовали, то его современная интерпретация всей совокупности системных проблем (см. [2, стр. 41—50]) по сути дела сводится к механическому соединению в рамках общей теории систем таких различных областей научного (и далеко не всегда системного) исследования, как «классическая» теория систем, использование вычислительных машин и моделирования, теория ячеек, теория множеств, теория графов, теория сетей, кибернетика, теория информации, теория автоматов, теория игр, теория решений, теория очередей ([2, стр. 42—45]).

Аналогичное смещение акцентов имеет место и в других вариантах общей теории систем: у М. Месаровича, у которого сочетается специфическая постановка задач общей теории систем с пониманием моделей общей теории систем как того, что «находится между представлениями систем с помощью блок-схем и детальными математическими (или вычислительными) моделями» [7, стр. 175], у Р. Акофа, который, дав яркое изложение целей общей теории систем, сводит, однако, технику системного исследования лишь к применению методов исследования операций, то есть к использованию явным образом ограниченных средств анализа, несущих на себе к тому же печать технического способа рассуждения [1], и т. д.

Сложившаяся в настоящее время ситуация конкурирующих друг с другом подходов к уточнению специфики общей теории систем в известной мере напоминает рассмотренное в начале статьи

взаимоотношение разных специализированных методов построения теории систем. Как и в случае с теориями систем, осознание задач общей теории систем у разных авторов определяется целевыми и предметными установками. У Л. фон Берталанфи — это разработка теоретических основ для нефизических областей знания и решение задач интеграции науки [27, стр. 30—38]; у М. Месаровича, Дж. Клира и некоторых других — построение теоретических основ для разнообразных технических системных концепций ([14], [34]); для У. Грея, Ф. Дала и Н. Риццо — исходной является гуманистическая ориентация этой концепции, перспективы, открываемые этой теорией, для построения науки о человеке и человеческих ценностях [31, стр. XVII—XIX, 7—31], и т. д. В результате для общей теории систем мы получаем аналоги «технического», «поведенческого», «социального» и т. д. вариантов задания теорий систем.

Однако эта ситуация напоминает предшествующую лишь до известной степени. В той мере, в какой речь идет об общей теории систем, в ней всегда неизбежно присутствует обобщение методологического, процессуального аспекта системного исследования, а в этой плоскости границы между разными предметными и целевыми способами задания общей теории систем постепенно стираются. Таким образом, чем в большей степени осознается эта методологическая функция общей теории систем, тем в большей степени разработка этой концепции приближается к той тенденции ее развития, которая рассматривается в этой статье.

Понятие системы в рамках общей теории систем

В литературе, посвященной системным исследованиям, причем в самых разнообразных их вариантах — в конкретных системных разработках, в теоретических описаниях системного анализа среднего уровня общности, в различных концепциях общей теории систем — мы сталкиваемся с внушительным многообразием подходов к определению понятия «система». В работах [3, стр. 28—31], [4, стр. 17—18, 23—24], [18], [19], [20, стр. 80—84] описаны и проанализированы некоторые из этих подходов. В контексте данной работы нас интересует не только и не столько максимально полное воспроизведение многообразия различных вариантов определения понятия «система», сколько выявление принципиально отличных путей решения этой проблемы.

Это различие путей можно усмотреть прежде всего в *характере* системного исследования, в рамках которого вводится понятие системы. Вполне естественно, что в конкретных системных разработках, имеющих дело с ограниченными классами системных объектов и задач, понятие «система», даже если его пытаются вводить в его общем значении, по сути дела является *выражением специфических признаков того класса объектов*, которые здесь исследуют-

ся. Так, например, У. Гослинг понимает под системой «собрание простых частей» [30, стр. 11], и при всей общности такого определения в его основе явно лежит совокупность системотехнических задач построения сложных систем управления из относительно простых компонентов. Аналогично и известный специалист в области экологии К. Уотт определяет содержание понятия «система» путем абстрагирования эмпирически фиксируемых в экологии признаков взаимодействия, например, компонентов леса или иного экологического объекта. В результате он дает следующее операциональное определение понятия «система» — «взаимодействующий комплекс процессов, характеризующийся многими взаимными путями причинно-следственных воздействий» [40, стр. 2]. Не рассматривая пока вопрос о корректности и полноте таких определений, отметим, что практически единственным основанием для их введения является абстрактный анализ выбранных эмпирических областей. Такое исследование, естественно, не решает задач общей теории систем.

Другая ограниченность определений понятия «система», предлагаемых в рамках специализированных системных исследований, состоит в большом *разрыве* между формулируемыми общими определениями этого понятия и техникой анализа, которой располагают те или иные области науки и техники. Так, во многих определениях акцент делается на взаимодействии компонентов, входящих в систему — см. вышеприведенное определение К. Уотта, определение Л. фон Берталанфи: система — «комплекс взаимодействующих компонентов» [7, стр. 29], определение Р. Акофа: система — «любая сущность, концептуальная или физическая, которая состоит из взаимозависимых частей» [7, стр. 145], и т. д. Вместе с тем, развернутая техника исследования взаимодействия компонентов в настоящее время отсутствует. Поэтому не случайно, например, О. Ланге, понимающий под системой «множество связанных действующих элементов» [7, стр. 196], фактически использует для исследования связи отождествление значений выходов и входов соответствующих элементов, то есть связь рассматривается как один из видов отношений, для анализа которых современная логика и математика располагают достаточными средствами. Аналогичный процесс рассуждения реализован в работах Дж. Клира [7, стр. 295—298]. Таким образом, многие определения понятия «система», формулируемые в контексте специальных системных разработок, *не являются оперативными*: фиксируемая в них реальность, как правило, значительно шире той, которую такие области науки и техники способны исследовать.

Эта же ограниченность подходов к определению понятия «система» (их не-оперативность) относится и ко многим попыткам решения этой проблемы в рамках общей теории систем, то есть к исследованиям, лежащим по своему характеру на другом полюсе системного движения (по сравнению с специализированными системными разработками). Вышеприведенные определения системы

Л. фон Берталанфи, О. Ланге и других подтверждают эту мысль. В этой сфере мы, однако, сталкиваемся с еще одной ограниченностью современных попыток решения проблемы определения понятия «система».

Решение проблемы определения понятия «система» в специальных системных концепциях обычно сводится к более или менее строгому введению этого понятия на специальном языке и установлению возможности оперативной работы с ним. Большого здесь не требуется. Однако выполнения этих условий недостаточно для решения данной проблемы в общей теории систем. Здесь, кроме названных условий, также требуется сопоставление интуитивного содержания, которое имеет термин «система» в его различных научных и технических применениях, с содержанием вводимого понятия «система» и сравнительный анализ различных подходов к определению этого понятия. К сожалению, эти дополнительные (и необходимые) условия, как правило, не реализуются в литературе по общей теории систем. В тех же случаях, когда авторы предлагаемых обобщенных определений понятия «система» отчетливо осознают невозможность абстрагироваться при проведении этих исследований от решения методологических проблем адекватности определения и его соотношений с другими определениями (А. И. Уемов [20], Дж. Клир [7, стр. 287—319] [34], Л. Апостель [24] и др.), обычно тщательному исследованию подвергается одна из методологических сторон определения, — например, сопоставление предлагаемого определения с другими возможными определениями, а другие методологические аспекты проблемы остаются без внимания или, во всяком случае, не получают очевидного, эксплицитного выражения.

После сделанных замечаний мы теперь имеем возможность изложить наше понимание определения понятия «система» в контексте общей теории систем. Кроме уже названных трудностей решения этой проблемы следует обратить внимание на такие обстоятельства. Интуитивно термин «система» мы склонны относить к чрезвычайно широкому классу предметов (если не сказать, что вообще к любым предметам) и в силу этого вряд ли возможно построить такое общее определение понятия «система», отдельными видами которого выступали бы, например, формализованные знаковые системы, живой организм, его отдельные компоненты, экономические системы, сложные системы управления и т. д. и т. п. Из этого следует вывод, что речь должна идти о разных понятиях «система». С другой стороны, если практически любой объект можно представить как систему, то есть как комплекс взаимосвязанных элементов, то далеко не всегда очевидны те гносеологические задачи, которые могут стоять, например, при анализе как систем листа бумаги или карандаша. При построении определения понятия «система» в рамках общей теории систем необходимо, следовательно, учесть гносеологические цели приписывания тем или иным объектам свойств систем.

Следует обратить особое внимание на то, что осознанное методологическое отношение к системной проблематике должно исходить из существования трех различных уровней анализа: *эмпирического*, *теоретического* (продуктом которого является построение разных вариантов теорий систем) и *метатеоретического* (призванного выработать средства построения и описания общей теории систем и ее взаимоотношений с теориями систем и с эмпирическими системными областями).

Таким образом, понятие системы представляет собой *сложную исследовательскую конструкцию* (особый идеальный объект), процесс образования которой оказывается предметом изучения целого комплекса наук. История науки, в частности, должна описать временную последовательность и условия формирования этой конструкции в отдельных научных дисциплинах и в науке в целом; теория деятельности — проанализировать этот процесс под углом зрения выработки новых форм научно-исследовательской активности людей; логика и методология науки — исследовать общую идеальную структуру этой конструкции и описать ее в строгом, формальном языке; специальные системные концепции и общая теория систем — ввести понятие системы в свои языки, удовлетворяя при этом как теоретическим принципам данной сферы науки, так и общим условиям метатеории системного исследования.

К сожалению, успехи в проведении такого комплексного, синтетического исследования оснований системного подхода в настоящее время чрезвычайно скромны. Можно назвать лишь отдельные попытки выполнения в той или иной мере этой задачи ([20], [34], [24]). В работах [18] и [19] также сделана попытка подойти к решению этого вопроса, исходя из следующей основной идеи.

В плоскости нашей интуиции и эмпирического рассмотрения у нас нет и не может быть строгих критериев приписывания тем или иным предметам свойств системы. В этой сфере царит принципиальное многообразие оснований, тенденций и склонностей, делающее задачу определения *нижней границы системности* чрезвычайно сложной. В настоящее время у нас нет и критериев уточнения *верхней границы системности*, переходя через которую мы вступаем в область различных видов систем, а не систем вообще. Строгое определение этих границ может быть лишь результатом тщательно проведенного комплексного изучения оснований системного подхода, а сейчас мы находимся лишь в самом начале такого исследования.

Поэтому не предвосхищая окончательных решений нам следует построить некоторую *иерархию свойств системы*, нижние члены которой, вполне возможно, будут еще относиться и к не-системам, а верхние, что весьма вероятно, будут захватывать и определенные виды систем, но в целом эта иерархия задаст и свойства системы как таковой. Очевидно, что при построении такой иерархии у нас не будет средств эксплицитного выделения только свойств системы как таковой, но мы будем гарантированы, что не вы-

дадим за такие свойства некоторый их частный набор, обусловленный тем или иным видом представления системного подхода. Такой способ рассмотрения соединяет в себе конструктивные и критическо-методологические функции и в наибольшей степени, по нашему мнению, соответствует специфике анализа, который должен проводиться в рамках общей теории систем.

Исходя из этих соображений, в [18] перечислен ряд содержательных признаков, отнесение которых к системным признакам, как правило, не вызывает никаких сомнений, и охарактеризовано некоторое семейство значений понятия «система» — как последовательное введение определенных наборов этих признаков. В работе [19] мы сделали следующий шаг — разбили системные признаки на три группы, условно обозначаемые как группы *A*, *B* и *C*, причем к группе *A* были отнесены признаки, характеризующие *внутреннее строение системы* («множество», «элемент», «отношение», «свойство», «связь», «взаимодействие», «подсистема», «организация», «структура» и др.), к группе *B* — характеризующие *специфические системные свойства* («изоляция», «взаимодействие», «интеграция», «дифференциация», «централизация», «децентрализация», «целостность», «стабильность», «обратная связь», «равновесие», «подвижное равновесие», «управление», «самоуправление» и др.) и к группе *C* — относящиеся к *поведению системы* («среда», «состояние системы», «деятельность», «целостность», «функционирование», «изменение», «гомеостазис», «эквифинальность», «целенаправленность» и др.).

Предполагая определенную упорядоченность расположения признаков в группах (по степени возрастания их системных свойств), мы предложили следующий способ введения в рамках общей теории систем семейства понятий «система». Различные возможные (непротиворечивые) наборы признаков как из одной группы, так и из разных групп задают особые определения понятия «система», которые, естественно, могут выражаться на содержательном или (и) формальном языках. В силу упорядоченности признаков в группах оказывается возможным сопоставление различных определений понятия «система» и расположение в определенной иерархии теоретических концепций, которые строятся на базе этих определений. Очевидно, что определения, использующие более отдаленные члены последовательностей признаков, оказываются более богатыми, более развернуто выражают специфику системы, а в некоторых случаях характеризуют и определенные типы систем.

Предлагаемый способ введения понятий «система» в контексте общей теории систем, с одной стороны, позволяет осуществить *постепенный переход* от несистемных конструкций к системному идеальному объекту (как это реально и проявляется в конкретных научных дисциплинах), а с другой стороны, способствует выяснению *общего основания* всего многообразия значений системы.

Изложенное понимание способа введения понятия «система»

в рамках общей теории систем нам представляется перспективным; однако его реализация, так, как она выражена, например, в [18] и [19], оставляет открытыми многие существенные вопросы. Главный из них касается поисков *реальных оснований* как упорядоченности выбираемых системных признаков, так и принципов упорядоченного расположения семейства значений понятия «система». Рассмотренные работы выполнены при предположении, что такие основания могут быть найдены, но — пока этого не сделано реально — реализация предложенной схемы определения дает в результате лишь *набор* как признаков, так и различных определений (при этом фактически осуществленная упорядоченность не выходит за рамки интуитивных, содержательных рассуждений).

В силу этого мы нуждаемся в дальнейшем исследовании и, возможно, в модификации рассматриваемой схемы введения понятия «система» в контексте общей теории системы. В заключение статьи мы и изложим некоторые соображения на этот счет.

В качестве исходного пункта — и это следует особо подчеркнуть — выбирается *метатеоретическое* рассмотрение теорий систем. Это означает, что мы должны располагать особым метаязыком — достаточно богатым для того, чтобы в нем можно было описать не только соответствующие системные эмпирические области и их теоретические воспроизведения в виде различных вариантов специализированных теорий систем, но и формы взаимоотношений между системной эмпирией и различными вариантами теории систем.

В таком языке мы должны иметь средства фиксации *объектов исследования и исследователей* этих объектов. Объект исследования нам дан прежде всего через некоторое множество своих *внешних проявлений*. Эти внешние проявления выражаются на языке метатеории в виде определенного множества рассматриваемых (данных или экспериментально устанавливаемых) *величин* некоторого подвергаемого анализу объекта. Отбор этих величин, а также степень точности измерения их значений определяются выбранным в данном случае *пространственно-временным уровнем анализа*. Уровень анализа, таким образом, представляет собой одну из форм объективированной фиксации деятельности исследователя, и с его учетом исследуемый объект выражается в метаязыке как *множество значений всех рассматриваемых величин*.

Данная характеристика научно-исследовательского акта * относится к любой форме познавательной деятельности, следовательно, и к системному исследованию. Однако в приведенном описании познавательной деятельности пока ничего специфически системного не содержится. «Системность» возникает как общая характеристика *некоторого класса задач*, который может быть поставлен

* При его описании мы использовали некоторые идеи, выраженные в книге Дж. Клира [34].

относительно множества значений всех рассматриваемых величин данного объекта.

Проблема выявления этого класса задач — чрезвычайно трудна, и в более или менее полном объеме может быть решена лишь при историческом исследовании становления идей системного подхода, теории систем и т. д. Поскольку такое историко-научное исследование в настоящее время не проведено, мы вынуждены в наших поисках класса системных задач воспользоваться косвенными соображениями, которые, естественно, не претендуют на какую-либо окончательность или завершенность.

Методом косвенного выявления системных задач может служить противопоставление задач современной науки и техники задачам классической, механистической в своей основе науки ([27], [71], [22], [41]).

Системные задачи, как они могут быть охарактеризованы в результате сопоставления с задачами механистической науки, сводятся к следующему. Вместо выявления причинных зависимостей немногих переменных возникает проблема обнаружения *всего многообразия связей и отношений*, имеющих место внутри исследуемого объекта и в его взаимоотношениях с другими объектами. В результате на передний план выдвигается *проблема многих переменных*. Представление об объекте как составленном из исходных элементов (как наборе таких элементов) заменяется пониманием его как *целостного образования*, свойства которого не сводятся и не выводятся из свойств его элементов. В этой связи необходимо, с одной стороны, рассматривать отдельные стороны (свойства) исследуемого объекта лишь в их *соотнесении* с объектом как целым, а с другой стороны, вскрыть *законы поведения* — функционирования, а во многих случаях и развития — таких целостных объектов.

Дальнейшая детализация названных исследовательских задач приводит нас к выделению задач исследования: *организации* рассматриваемых объектов, их *иерархического строения*, *соотношения внешней и внутренней детерминированности*, процессов *передачи информации и управления*, *целенаправленного поведения*, условий *стабильности* (постоянства исследуемых объектов при непрерывном изменении многих их компонентов), механизмов *конкурентности и рефлексивного управления*, способов *синтеза* в едином знании разных описаний одного объекта, различных форм *взаимоотношения* рассматриваемых объектов с *исследователем* и ряда других.

Все эти и им подобные задачи были неизвестны классической науке. Все они могут формулироваться в исходных для любого научного исследования терминах множества значений всех рассматриваемых величин данного объекта или объектов. Опыт развития науки и техники в конце XIX—XX вв. показывает, что эти возникшие на эмпирическом уровне задачи в теоретической сфере располагаются вокруг понятия системы и идей системного метода исследования. Поэтому мы в нашем метатеоретическом рас-

смотрении можем (с учетом ранее сделанных оговорок о полноте и строгости проводимого описания) отнести эти задачи к классу *системных*. И в этой связи нашей главной проблемой становится выявление — на уровне метаязыка — соотношений между эмпирическими системными задачами и их формулированием в теоретических терминах, а также определение условий упорядочения теоретических системных концепций.

Из этого круга вопросов мы остановимся еще на принципах упорядочения теоретических системных концепций. Один из возможных подходов к решению этой задачи состоит в *типологическом* рассмотрении многообразия понятий «система».

Для проведения такого исследования было отобрано некоторое множество определений понятия «система» — около 40 определений, получивших наибольшее распространение в литературе (основные из них приводились в тексте статьи).

Предварительный анализ показал, что это многообразие включает в себя три различных группы определений. В первую группу входят определения системы как некоторых классов математических моделей (например, «система — математическая абстракция, которая выступает в качестве модели динамического явления» [29, стр. 1] и аналогичные). Вторая, наиболее значительная по объему группа включает определения «системы» через понятия «элементы», «отношения», «связи», «целое», «целостность» (примеры таких определений общеизвестны). И, наконец, в третью группу входят определения «системы» с помощью понятий «вход», «выход», «переработка информации», «управление» (например, «система — это собрание сущностей или вещей (одушевленных или неодушевленных), которое воспринимает некоторые входы и действует согласно с ними для производства некоторых выходов, преследуя при этом цель максимизации определенных функций входов и выходов» [33, стр. 141]).

Наибольший интерес — во всяком случае, в начальной стадии исследования — представляет вторая группа определений. Мы разложили каждое из определений, входящих в эту группу, на его *составные компоненты*. Набор таких компонентов включал: характеристику исходных образований (A_1); характеристику сочетания таких образований (A_2); фиксацию наличия отношений, связей между исходными образованиями (α); характеристику полученного при наличии первых трех компонентов образования (β_1); фиксацию функционирования такого сложного образования (β_2); наличие дополнительных характеристик (γ) — всего шесть различных компонентов.

Проведенный анализ показал, во-первых, крайнюю *неоднородность описания* в разных определениях одного и того же компонента. Например, при указании исходных образований в разных определениях используются понятия: «факты», «объекты», «единицы», «элементы», «части», «атрибуты», «свойства», «вещи», «физические компоненты», «сущности», «части-компоненты» и т. д. Для характе-

ристики сочетания таких исходных образований применяются термины: «собрание», «соединение», «множество», «группа», «комплекс», «совокупность», «серия», «размещение» и т. д.

Эта неоднородность описания свидетельствует о том, что определения понятия «система», формулируемые, как правило, в начале соответствующей системной концепции, даются в основном в интуитивных терминах, не «привязываются» к терминологии сложившихся и устоявшихся научных дисциплин.

Проведенное исследование, во-вторых, дало возможность установить *определенные взаимосвязи между разными компонентами*, входящими в рассматриваемые определения понятия «система».

В подавляющем большинстве определений этой группы в явном виде указывается A_1 , дается характеристика сочетания исходных образований в терминах A_2 и (или) β_1 , утверждается или непосредственное наличие связей и отношений α или через β_1 . Остальные компоненты рассматриваемых определений играют вспомогательную, конкретизирующую роль.

Отсутствие A_1 , имеющее место крайне редко, приводит к сокращенной форме определения, акцент в которой делается на β_1 и β_2 (например, система есть «упорядоченно действующая целостность, тотальность» [42] или «система в широком смысле может быть всем тем, что может рассматриваться как отдельная сущность» [38, стр. 13]). Если в определении отсутствуют A_2 и β_1 , то признак целостности системы задается фиксацией связей и отношений и, как правило, указанием дополнительных характеристик (например, «система — это ограниченная пространственно-временная область, в которой части компоненты соединены функциональными отношениями» [35, стр. 6], где α и γ («ограниченная пространственно-временная область») фиксируют целостные признаки системы). Наконец, при отсутствии α и β_1 признак целостности задается через A_2 и дополнительные характеристики (например, система есть «совокупность или группа компонентов или частей, необходимых для некоторой операции» [43, стр. 3]).

Необходимо отметить, что все эти три типа исключений крайне редки и, как следует из вышесказанного, могут рассматриваться как *сокращенные формы определения системы* через элементы, связи, отношения и целостность. На этой основе мы приходим к выводу, что выделенная структура определения понятия «система» выступает как *базовая*, характеризующая во всяком случае весьма большой класс систем. Внесение в эту структуру дополнительных признаков (например, характеристик «входа», «выхода», «управления» и т. д. — определения третьей группы) *приводит к конкретизации* базового определения, и, по-видимому, задает *определенные классы систем*. Что же касается определений первой группы, то их можно рассматривать как, с одной стороны, *математическое выражение базового определения* (если конструируемые математические модели описывают объекты, удовлетворяющие базовому определению), а с другой стороны, как построение *более*

широкого класса математических моделей, в терминах которых можно проследить постепенный переход от несистемного к системному объекту исследования.

Намеченные контуры иерархии теоретических представлений о системе, формулируемых в терминах метаязыка, могут служить реальной основой для систематического построения общей теории систем. Конкретная реализация этого построения — задача, далеко выходящая за рамки данной статьи. Однако метатеоретические соображения, изложенные здесь и опирающиеся сегодня на уже достаточно богатый опыт системных исследований, позволяют, как нам представляется, с большей уверенностью определять исходные основания и методы построения общей теории систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акоф Р. Общая теория систем и исследование систем как противоположные концепции науки о системах.— «Общая теория систем». М., 1966.
2. Берталланфи Л. фон. Общая теория систем — обзор проблем и результатов.— «Системные исследования. Ежегодник 1969». М., 1969.
3. Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Системный подход: предпосылки, проблемы, трудности. М., 1969.
4. Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Системные исследования и общая теория систем.— «Системные исследования. Ежегодник 1969». М., 1969.
5. Гуд Г. Х., Макол Р. Э. Системотехника. Введение в проектирование больших систем. М., 1962.
6. Заде Л. От теории цепей к теории систем.— «Труды института радиотехников», 1962, т. 50, № 5.
7. «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
8. Кремянский В. И. Некоторые особенности организмов как «систем» с точки зрения физики, кибернетики и биологии.— «Вопросы философии», 1958, № 8.
9. Кремянский В. И. Структурные уровни живой материи. М., 1969.
10. Лекторский В. А., Садовский В. Н. О принципах исследования систем (в связи с «общей теорией систем» Л. Берталланфи).— «Вопросы философии», 1960, № 8.
11. Ляпунов А. А. Об управляющих системах живой природы и общем понимании жизненных процессов.— «Проблемы кибернетики», вып. 10. М., 1964.
12. Малиновский А. А. Пути теоретической биологии. М., 1969.
13. Мельников Г. П. Системная лингвистика и ее отношение к структурной.— «Проблемы языкознания. Доклады и сообщения советских ученых на X Международном конгрессе лингвистов». М., 1967.
14. Месарович М. Основания общей теории систем.— «Общая теория систем». М., 1966.
15. Оптнер Ст. Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М., 1969.
16. Ревзин И. И. Развитие понятия «структура языка».— «Вопросы философии», 1969, № 8.
17. Садовский В. Н. Логико-методологический анализ «общей теории систем» Л. фон Берталланфи.— «Проблемы методологии системного исследования». М., 1970.
18. Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Система.— «Философская энциклопедия», т. 5. М., 1970.

19. Садовский В. Н. Общая теория систем: задачи и методы построения.— «Исследование систем (Материалы Всесоюзного симпозиума)». М., 1971.
20. Уемов А. И. Логический анализ системного подхода к объектам и его место среди других методов исследования.— «Системные исследования. Ежегодник 1969». М., 1969.
21. Хайлов К. М. Проблема системной организованности в теоретической биологии.— «Журнал общей биологии», 1963, т. XXIV, № 5.
22. Юдин В. Г. Становление и характер системной ориентации.— См. в настоящем издании.
23. Allport G. W. The Open System in Personality Theory.— «Journal of Abnormal and Social Psychology», 1960, v. 61.
24. Apostel L. Théorie des systèmes et théorie des prévisions.— «Prévisions, Calcul et Réalités». Paris, 1965.
25. Bertalanffy L. von. Robots, Men and Minds. N. Y., 1967.
26. Bertalanffy L. von. General Theory of Systems: Application to Psychology.— «Social Science. Information sur les Sciences Sociales», 1967, v. VI, N 6.
27. Bertalanffy L. von. General System Theory. Foundations, Development, Applications. N. Y., 1968.
28. Buckley W. Sociology and Modern Systems Theory. N. J., 1967.
29. Freeman H. Discrete-Time Systems. N. Y., 1965.
30. Gosling W. The Design of Engineering Systems. London, 1962.
31. Gray W., Duhl F. J., Rizzo N. D. (eds). General Systems Theory and Psychiatry. Boston, 1969.
32. Hall A. D. A Methodology for Systems Engineering. Princeton, 1962.
33. Kershner R. B. A Survey of Systems Engineering Tools and Techniques.— «Operations, Research and Systems». Baltimore, 1960.
34. Klir G. J. An Approach to General Systems Theory. N. Y., 1969.
35. Miller R. E. Switching Theory. N. Y., 1965.
36. Piaget J. La notion d'équilibre et son rôle explicatif en psychologie.— «Acta psychologica», 1959.
37. Quastler H. General Principles of Systems Analysis.— «Theoretical and Mathematical Biology». N. Y., 1965 (Перевод — «Теоретическая и математическая биология». М., 1968).
38. Roosen-Runge P. H. Toward a Theory of Parts and Wholes: An Algebraic Approach.— «General Systems», 1966, v. XI.
39. Sorokin P. A. Sociological Theories of Today. New York — London, 1966.
40. Watt K. E. F. (ed). Systems Analysis in Ecology. New York — London, 1966.
41. Weaver W. Science and Complexity.— «American Scientist», 1948, v. 36.
42. «Webster's Third New International Dictionary».— Цит. по [34, стр. 283].
43. Wilson J. G., Wilson M. E. Information, Computers and System Design. N. Y., 1965 (Перевод — Дж. Уилсон, М. Уилсон. Информация, вычислительные машины и проектирование систем. М., 1969).
44. Zadeh L., Polak E. (eds). Systems Theory. N. Y., 1969.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД

С. П. НИКАНОРОВ

Под «системным анализом» в данной статье будет пониматься методология* решения комплексных проблем развития промышленности, транспорта, обороны, образования и других областей, а также проблем построения организаций, примеры изложения которой даны в [5] и [10].

Поскольку системный анализ в последнее время получил широкое распространение и не без основания считается эффективным средством решения проблем в ряде областей, представляет интерес обсуждение основ этой методологии.

В статье рассматривается процесс, породивший системный анализ как часть системного движения, излагается концептуальная схема** системного анализа, изучается структура концептуальной схемы и содержание некоторых входящих в нее понятий, обсуждаются операциональная роль подобных концептуальных схем и причины, делающие их «сильными» или «слабыми», определяются некоторые перспективы развития системного анализа.

В ходе изложения рассматривается вопрос о значении вариантов системного подхода, понимаемого в смысле [2], для развития системного анализа и, соответственно, о значении опыта системного анализа для развития системного подхода.

1

Так называемое «системное движение» представляет собой, в конечном счете, изучение и преобразование различных фрагментов «мира людей» на основе «системных представлений».

Существуют два источника, порождающих современное системное движение, — практика промышленности, техники, экономики,

* Термин «методология» мы используем не в общеполитическом смысле, а в более узком значении — как инструмент решения научных и практических проблем.

** Мы полагаем, что «концептуальная (или понятийная) схема», «модель», «способ понимания», «метод мышления» и другие подобные термины — синонимы,

отчасти социально-политическая практика,— и теория, главным образом биология, но также теория организаций, психология, лингвистика и некоторые другие области. Если иметь в виду степень влияния этих источников на развитие системного движения, как в его теоретических, так и в прикладных аспектах, то придется признать, что практика является гораздо более существенным источником, чем теория.

Производственная система, потребляющая ресурсы отдельного фрагмента реальности и превращающая их в конечные продукты, развивается как экстенсивно, так и интенсивно. Для осуществления ее развития необходимо устанавливать связь между задачами и имеющимися и предполагаемыми возможностями развития системы,— т. е. принимать решения о развитии. Рост числа и взаимозависимости задач развития производственной системы, рост числа и взаимозависимости возможностей для решения задач развития увеличивают сложность определения направлений и этапов развития производственной системы.

Весь «мир человека» быстро усложняется. Его актуальные проблемы требуют все более широких решений, которые требуют все больше времени и труда для своего формирования и реализации. Это порождает необходимость прогнозирования состояния реальности на отдаленное время, что, в свою очередь, требует более глубокого понимания механизмов изменения реальности.

Одно из общих правил, управляющих изменениями, состоит в том, что при таких воздействиях на отдельный фрагмент реальности, интенсивность и качественное разнообразие которых значительно ниже того, что имеет место в собственных процессах этого фрагмента, последний выступает перед потребителем как аддитивный источник ресурсов. Связи фрагмента вскрываются только в том случае, если интенсивность и качественное разнообразие собственных процессов фрагмента и воздействия оказываются сравнимыми. Нелинейность — это явление, наблюдающееся после перехода границы между относительно суммативной и относительно целостной реакцией изучаемого фрагмента на воздействие.

В настоящее время интенсивность использования ресурсов Природы, как неживой, так и живой, во многих ее частях становится сравнимой с интенсивностью собственных процессов Природы. Поэтому рассмотрение Природы как склада независимых ресурсов становится уже невозможным. Возникает необходимость в весьма сложных ее описаниях [7]. Точно так же оказывается невозможным в ряде случаев рассмотрение отдельных воздействий на Природу как изолированных друг от друга. Хотя в направлении исследования Природы как сложной системы многое делается, у нас есть пока только частичные или весьма общие представления о структуре и интенсивности ее процессов. Рассмотрение неживой и живой Природы как целостной совокупности процессов стимулируется также необходимостью считаться с ее разрушительными силами.

Подобное же положение существует и в самой производственной системе. Ее отдельные части, которые ранее рассматривались как несвязанные, выступают теперь как зависящие друг от друга. Это происходит либо в результате того, что части оказываются ограничивающими достижение одной и той же цели развития, либо они выступают как конкурентные потребители одинаковых ресурсов.

Организационные формы обеспечения действия и развития производственной системы всегда отстают от ее развития, но особенно значительным это отставание становится в настоящее время, когда для развития производственной системы широко используются результаты научных исследований. Указанное несоответствие организационных форм значительно осложняет управление развитием производственных систем. Дополнительным фактором, действующим в этом же направлении, является значительная рассеянность знаний о самой производственной системе, о задачах и возможностях ее развития.

Развитие производственной системы, в свою очередь, оказывает глубокое воздействие на всю систему социальных отношений, в которой в результате этого воздействия возникают и проявляются скрытые связи, ранее не принимавшиеся во внимание.

Нынешний подъем системного движения является отражением проблем, возникших в связи с резким увеличением интенсивности и широты воздействия общества на Природу, бурным развитием промышленности, резким изменением системы социальных отношений. Не удивительно, что в этих новых условиях практика решения проблем развития в различных областях жизни общества постепенно выявила некоторые общие характерные элементы процесса решения проблем. Именно этим путем возник тот вариант методологии решения проблем, который мы здесь называем «системный анализ».

Однако было бы неверно думать, что идеи, выдвигаемые системным движением, являются совершенно новыми. Определенная доля «системности» всегда присутствовала в мышлении и деятельности людей, иначе существование и развитие человеческих обществ было бы невозможно. Раскрывая книги XIX в. по технике, политике и другим областям знания, мы обнаруживаем поразительное сходство рассуждений с теми, которые проводятся в системном анализе. Несомненно также, что существовали различные формы осознания системности. В этом смысле системное или несистемное мышление не является чертой какой-либо эпохи или периода развития, а, скорее, принадлежностью жизненной позиции отдельных слоев общества или отдельных лиц.

То, что отличает теперешний подъем системного движения от прошлых этапов развития системных взглядов, заключается в выяснении широкой общности относительно простых концептуальных схем, превращение этих схем в регулярно используемое в интересах практики методологическое средство, своеобразную «системную» культуру мышления.

Первоначальные описания системного анализа опирались на нечеткий концептуальный аппарат. Например, описание системного анализа, относящееся к середине 50-х годов [5], ведется со слабо оформленным концептуальным аппаратом. Только после того, как примеры и основные идеи методологии изложены, осторожно вводятся некоторые понятия концептуальной схемы. В дальнейшем требования унификации практики системного анализа, передачи опыта, а также необходимость осмыслить развивающуюся методологию привели к различным попыткам обобщения и, следовательно, к выработке более или менее ясных концептуальных схем. Часть этих обобщений послужила основой для инструкций, регламентирующих решение проблем в определенных областях, другая часть приняла характер последовательного изложения методологии системного анализа и практики ее применения с достаточно четко выделенной и используемой концептуальной схемой [10].

Системный анализ первоначально применялся для выбора отдельного изделия из совокупности функционально сходных изделий. Однако позже выяснилось, что такой выбор может осуществляться только в рамках более широких целей, где рассматриваемые изделия являются только подсистемами и только этапами развития. Таким образом, все большие части производственной или военной системы становились объектом изучения. Методология системного анализа постепенно становилась основой постоянно действующего механизма решения большой совокупности взаимосвязанных проблем.

Важнейшая функция системного анализа состояла в определении структуры связей между задачами и возможностями их решения. Открываемые структуры служили основой для выбора целей и средств их достижения. Методологическое средство системного анализа — его концептуальная схема — прежде всего направлено на выполнение этой функции. Выраженный в концептуальной схеме практический опыт после освоения становится основой действий лица или коллектива при решении проблем.

Следующие рассуждения помогают понять, какими факторами определялась концептуальная схема системного анализа. В центре этой методологии находится операция количественного сравнения альтернатив решений. Количественные оценки должны характеризовать сравниваемые равнокачественные альтернативы по величинам их эффективности и затрат для получения данного результата. Правильность количественных оценок зависит от того, насколько полно и правильно учтено все, от чего зависят эффективность и затраты. Так возникает идея выделения *«всех элементов, связанных с данной альтернативой»*, т. е. идея, которая на естественном языке выражается как *«всесторонний учет всех обстоятельств»*. Выделяемый этим определением комплекс элементов и называется в системном анализе *«полной системой»*.

Но как выделить этот комплекс элементов, эту «систему», как установить, входит ли данный элемент в данную альтернативу или нет? Единственным критерием может быть *участие данного элемента в процессе*, приводящем к появлению выходного результата данной альтернативы. Коль скоро это так, *понятие процесса оказывается центральным понятием системного анализа*, вокруг которого строится вся концептуальная схема.

Рассмотрим кратко концептуальную схему системного анализа, как она представлена в [10].

Система определяется заданием системных объектов, их свойств и связей между ними. Системные объекты — это *вход, процесс, выход*, а также *обратная связь* и *ограничение*. Входом называется то, что предшествует протеканию процесса. Можно также сказать, что вход есть *все то, что изменяется при протекании процесса*. Участие в процессе устанавливается по наличию изменения. Вход состоит из элементов входа. В некоторых случаях элементами входа являются «рабочий вход» (то, что «обрабатывается») и *процессор* (то, что «обрабатывает»). Выходом называется результат или конечное состояние процесса. Процесс переводит вход в выход. Способность переводить данный вход в определенный выход называется свойством данного входа.

Связь определяет следование процессов, т. е., что выход некоторого процесса является входом некоторого другого определенного процесса. Всякий вход системы является выходом этой или другой системы, а всякий выход — входом. Выделить систему в реальном мире значит указать ее вход, процесс и выход.

Всякая система состоит из подсистем. Всякая система является подсистемой некоторой системы. Постулируется, что *любой реальный объект может быть описан в терминах системных объектов*, свойств и связей между ними.

Искусственные системы — это такие, элементы которых сделаны людьми, т. е. являются выходом сознательно организуемых процессов. Во всякой искусственной системе существуют три различных по своей роли подпроцесса: *основной процесс* преобразует вход в выход; *обратная связь* обеспечивает соответствие между фактическим и желаемым выходом путем изменения входа; *процесс ограничения* обеспечивает соответствие между выходом системы и требованиями к нему как входу в последующую систему, являющуюся потребителем этого выхода.

В подсистеме обратной связи выполняется ряд операций: сравнивается выборка выхода с моделью выхода и выявляется их качественно-количественное различие, оценивается содержание и смысл различия, вырабатывается решение, вытекающее из различия, формируется процесс ввода решения (воздействия на вход). Процесс ограничения возбуждается потребителем выхода системы, анализирующим ее выход. Этот процесс воздействует на выход системы, принимая или отвергая его, и на модель выхода системы. Модель выхода, отражающая ограничение, определяет

цель (функцию) системы и принуждающие связи (качества функции), которые с помощью процесса ограничения согласовываются с целями потребителя.

Проблемная ситуация существует, если имеется различие между необходимым (желаемым) выходом и существующим выходом, которое может проявляться в симптомах. Существующий выход обеспечивается существующей системой. Желаемый выход обеспечивается желаемой системой. *Проблема* есть разница между существующей и желаемой системой. Проблема может заключаться в предотвращении уменьшения выхода или же в увеличении выхода. *Условие* проблемы представляет известное. *Требование* проблемы представляет желаемую систему. *Решение проблемы* есть система, заполняющая «промежуток» между существующей и желаемой системами. Решить проблему — значит сконструировать систему, которая вместе с измененной существующей системой составляет желаемую.

Процесс нахождения решения проблемы концентрируется вокруг итеративно выполняемых операций идентификации (выяснения) условия, цели и возможностей для решения проблемы. Результатом этих операций является описание условия, цели и возможностей в терминах системных объектов, т. е. в терминах структуры связей и подсистем. Если структура связей и подсистем условия, цели и возможностей данной проблемы известны, идентификация имеет характер определения количественных отношений, а проблема называется количественной. Если структура связей и подсистемы условия, цели и возможностей известны частично, идентификация имеет качественный характер, а проблема называется качественной или слабоструктуризованной.

Системный анализ *устанавливает принципиально необходимую номенклатуру функций решения проблемы*, которая состоит из обнаружения проблемы, оценки актуальности проблемы, определения ограничения (цели и принуждающих связей), определения критериев для измерения степени приближения решения проблемы к желаемому, анализа существующей системы, определения структуры возможностей для построения набора альтернатив, выбора альтернативы решения, обеспечения признания выбранному решению, принятия решения (принятия на себя формальной ответственности), реализации решения, определения результатов решения проблемы. Граница процесса решения проблемы определяется условиями, целью и возможностями его реализации.

Постулируя номенклатуру функции решения проблем, системный анализ дает средство для анализа и построения организаций. В частности, организации с иерархической структурой подчинения могут быть преобразованы в организации, решающие проблемы, путем приписывания подразделениям функций решения проблемы.

Таковы, в самых общих чертах, основные представления системного анализа как методологии решения проблем.

Для того чтобы понять методологическое содержание системного анализа и выделить тенденции его развития необходимо вскрыть структуру его концептуальной схемы. В самом деле, если бы нам пришлось сравнивать между собой две разные методологии решения проблем, то у нас не было бы другого средства, кроме сравнения их концептуальных схем, т. е. сравнения номенклатуры понятий и отношений между ними.

Полезным средством для анализа структуры концептуальной схемы системного анализа оказывается понятие *«уровня описания»*. Под уровнем описания мы будем понимать здесь такую группу понятий концептуальной схемы, которые связаны относительно изолированной структурой отношений и которые интерпретируются как целое. Если уровни описания, выделяемые в концептуальной схеме, находятся в таком отношении, что понятия одного уровня определяются через понятия другого, то будем говорить об иерархической структуре концептуальной схемы, и, соответственно, о более низких (и, следовательно, общих) и более высоких уровнях описания.

Можно по-разному определять, что входит в концептуальную схему системного анализа и какова ее структура. Это зависит от того, какое изложение берется за основу, какова общая установка в оценке этой методологии и многих других обстоятельств. Мы здесь примем, что концептуальная схема системного анализа состоит из *двух* иерархических уровней описания и что второй уровень состоит из *двух сходных групп* описания.

Первый уровень определяет реальность как совокупность взаимосвязанных процессов. Он содержит понятия вход, процесс и выход, свойство, связь и структура. Процессное описание является фундаментом системного анализа. Однако этот уровень не постулирует каких-либо классов процессов и их структур, а только предоставляет средство для описания любых структур. Задача постулирования определенных классов процессов и их структур решается на втором уровне описания.

Второму уровню описания принадлежат две сходных группы понятий, которые устанавливают качественные отличия и отношения между процессами. Первая постулирует структуру «системы с обратной связью и ограничением». К ней принадлежат понятия (основной) процесс, обратная связь, ограничение, цель, принуждающая связь. Вторая постулирует структуру «системы, решающей проблему». К ней принадлежат понятия, описывающие функции решения проблем и их взаимоотношения. Таким образом, сюда входят понятия проблемы, решения, модели выхода, проверки соответствия, модели воздействия, критерия решения проблемы и др.

Возможно, что для обеих групп может быть дано унифицированное описание.

Остановимся несколько более подробно на содержании некоторых понятий концептуальной схемы системного анализа и структуре уровней описания.

Большой теоретический и практический интерес представляет анализ содержания понятий *вход* и *выход*, а также всей концептуальной схемы первого уровня, составляющей ядро системного анализа. Можно полагать, что процессное описание для многих случаев должно опираться на абстрактную модель физического процесса. Такое предположение дает одну из возможных основ для анализа рассматриваемой концептуальной схемы.

Возможны различные толкования понятий *вход* и *выход*. Если эти понятия толковать как временные сечения процессов, то получим концептуальную схему, содержащую только идею изменения. В таком аппарате начало процесса неотличимо от любого его временного момента. Если *вход* и *выход* трактовать как «не-процессы», как предшествующий процессу и следующий за ним объекты, то возникает концептуальная схема, описывающая *вход* и *выход* как границы между процессами. Такая концептуальная схема содержит *вневременное* (пространственное) описание *входа* и *выхода* и *временное* описание (процесс) как равные. Наконец, может быть предложена концептуальная схема, когда *вход* и *выход* в отношении к данному процессу рассматриваются как не-процессы, а в отношении к другому процессу рассматриваются как процессы.

Перечисленные три варианта построения основного ядра концептуальной схемы системного анализа могут рассматриваться как последовательные стадии идеализации при построении абстрактной модели физического процесса. Релятивная схема имеет наименьшую степень идеализации, менее адекватна схема процессов с границами и, наконец, наиболее грубой является схема пространственно-временного описания. Такое описание широко применяется на практике при решении технических и других задач. Например, на таком языке описывается конструкция технических систем.

Большой интерес представляет построение объяснительной схемы, определяющей *номенклатуру элементов входа и выхода*. Можно отметить сходство между номенклатурой элементов *входа* искусственной системы и номенклатурой статей затрат бухгалтерского учета. Понятие «*капитал*», как оно вводится, например, в [11], является перечнем тех элементов *входа* процесса производства, которые являются *выходом* из процессов «мира человека».

Если отсутствует «*место*», необходимое для протекания процесса, то, по определению, процесс идти не может. Таким образом, «*место*», свободная часть пространства, является элементом *входа*. Изучение этого вопроса показывает, что пространство (которое приписывается не-процессу в схеме процессов с границами) должно быть разделено на две части: *атрибутивное пространство*, необходимо связанное с остальными элементами *входа*, и *ресурс-*

ное (или процессное) *пространство*, которое необходимо для прохождения процесса.

Аналогичным образом могут быть введены понятия *атрибутивного времени* процесса и *ресурсного времени* совокупности процессов. Как одна из возможностей не-феноменологического представления времени в этой концептуальной схеме должна быть отмечена возможность представления времени как элемента входа, представляющего внешнюю по отношению к данному процессу событийную конфигурацию. Это ведет к описанию систем в терминах изменения конфигурации событий, близость которых может измеряться в терминах меры выхода.

Понятие *энергии* в данной концептуальной схеме может быть введено феноменологически, приписыванием входу или процессу (этот путь может быть использован при построении так называемых информационных моделей объектов) некоторой величины. Однако существуют и другие возможности, например, определение энергии как *меры перехода входа в выход*. Этот путь заставляет совершенно иными глазами смотреть на понятие вход как средство выделения целостностей при анализе реального мира, его объектов и процессов.

Перейдем к обсуждению концептуальной схемы второго уровня. Как уже отмечалось, ее назначение заключается в постулировании специфических качеств и структур процессов. Концептуальная схема второго уровня определяет весьма ограниченную номенклатуру качественно различных процессов, а также весьма простую структуру их связей. Подход, который подобным образом позволяет постулировать структуру процессов, мы будем называть здесь *«функционализмом»*.

Под *функцией* мы будем здесь понимать то общее, что есть у процессов с взаимозаменяемыми выходами (точнее, с целевыми элементами выходов) искусственных систем. Таким образом, процесс искусственной системы может быть описан указанием функции, которую он выполняет, и *метода*, который применяется для выполнения функции. По-видимому, можно полагать, что *номенклатура функций конечна*, и сами функции находятся в *иерархических отношениях друг с другом*. Принятие этого положения будет иметь далеко идущие последствия для формирования системной методологии и для ее приложений. *Составление полного перечня функций*, на наш взгляд, *является весьма актуальной задачей*. В качестве одного из исходных пунктов может быть использована изложенная раньше номенклатура функций решения проблем.

Другое направление, ведущее к существенному расширению сферы, охватываемой функциональным описанием, связано с использованием понятия открытой системы [1]. Мы уже отмечали [8], что попытка использовать понятие открытой системы как методологического средства [10] имеет неконструктивный характер. Если бы она была успешной, то возник бы еще один фрагмент концептуальной схемы системного анализа. Если понятие открытой

системы трактовать как сохранение конфигурации и свойств процессора, то выделяется *функциональная структура подсистемы поддержания*. Процесс роста, описываемый теорией открытых систем, также может быть представлен определенной функциональной структурой.

Между подсистемами основного процесса и процесса поддержания устанавливаются сложные отношения. Важнейшую сторону этих отношений мы выражаем принципом, гласящим, что *процессы поддержания (точнее, восстановления) процессора и основной процесс несовместимы во времени*. Этот постулат приводит к существенным изменениям в представлениях о том, как «устроены» системы. Его принятие означает необходимость отражать в концептуальной схеме циклическое функционирование подсистем системы и, следовательно, *предопределяет дискретную структуру поведения системы*.

Итак, процессное описание дает методологическое средство для вскрытия и построения структур процессов, функционализм постулирует как общие определенные виды структур. В случае относительно простых структур, например, при сравнении альтернатив технических систем, «разматывание» по ниточке процесса, определяемое первым уровнем концептуальной схемы системного анализа, будет эффективно. Если же структуры процессов сложны, динамичны и недостаточно определены, как в случае организаций, «разматывание» будет неэффективным. Определенный результат в этом случае может дать исследование реальной структуры на основе постулированной функциональной структуры, однако успех зависит от ее адекватности структуре реальных организаций.

4

Практическая эффективность, важные эвристические свойства системного анализа, его глубокое влияние на организацию заставляют очень внимательно отнестись к системному анализу как показательному примеру применения одной из разновидностей системной методологии. Необходимо отдать себе отчет в том, каким образом концептуальная схема, не содержащая и двух десятков понятий, может оказывать столь значительное влияние на практику? Понимание этого может быть весьма полезным как для применения системного анализа и его развития, так и для разработки других форм системной методологии решения проблем.

К сожалению, наши знания еще не позволяют дать полноценного ответа на этот вопрос. В литературе мало исследован вопрос о том, что такое «*концептуальная схема*», каковы ее характеристики, что означает для действия или поведения лиц или коллективов смена или освоение концептуальной схемы.

Изучение этих и подобных вопросов может помочь понять условия применения различных концептуальных схем. Может оказаться, например, что высокая эффективность избранных концеп-

туальных схем является иллюзорной в одних условиях и реальной — в других. В определенных условиях логичность концептуальной схемы может приводить к усилению противоречий, а не решению проблем, хотя в других условиях эта же концептуальная схема окажется удовлетворительной.

Для обсуждения интересующих нас вопросов мы воспользуемся некоторыми понятиями, введенными в работе [13].

В этой работе вводится понятие «образа» — фактического знания отдельного лица, которое служит основой для его поведения. Образ, которым располагает отдельный человек, состоит из десяти частей: образа пространственного расположения вещей; образа временной последовательности изменений вещей; образа отношений между вещами — правил, управляющих Вселенной; образа самого себя и своего положения среди других предметов, лиц и организаций; образа ценностей, определяющего личное отношение ко всем элементам других частей образа; образа эмоционального отношения; сознаваемого, неосознанного и подсознательного аспектов образа; образа неопределенности элементов образа; образа отношений других лиц к элементам образа.

Элементы природы, отображаемые образом, суть статические структуры, механические системы, гомеостатические системы, системы типа клетки, растения, животные, человек и организации. С каждой системой связано описание, которое может осуществляться с помощью различных концептуальных схем, классификация которых вообще совпадает с перечнем систем. Однако в настоящее время адекватные описания существуют только для первых двух типов систем, остальные описываются главным образом в терминах концептуальных схем статических структур и механики. В последнее время появляются кибернетические модели.

Изменение образа происходит только с помощью сообщения. Функции сообщения состоят только в изменении образа. Сообщение может производить в образе четыре вида изменений. Первый вид заключается в отсутствии изменений. Второй — в регулярных, имеющих характер дополнений, изменениях. Третий вид изменений — коренные изменения основных структур образа, приводящие к полному изменению всей его структуры. Отказ от веры — пример такого преобразования образа. Четвертый вид изменений — устранение неопределенностей в некоторых частях образа, или же, наоборот, создание неопределенности на месте ранее ясной структуры, если она подвергается сомнению. Смена геоцентрических представлений на гелиоцентрические означала не только изменение образа статических структур, но имело также следствием падение веры, а вслед за ним возникновение неопределенностей на месте догматов о творении мира.

Таковы некоторые идеи работы [13]. Хотя некоторые из перечисленных положений этой работы вызывают возражения, ее концепцию можно использовать для объяснения эффектов, происходящих

при освоении концептуальных схем, подобных системному анализу.

Следует отдавать отчет в том, что при отказе от геоцентрических представлений концептуальный аппарат, с помощью которого описывалось движение небесных тел, не изменился, а изменились только отношения, выражаемые тем же самым аппаратом понятий. Столь незначительные первичные изменения могут вызывать такие обширные и глубокие изменения образа только в том случае, если образ в целом имеет *порождающую, генетическую структуру*. Такая структура, как представляется, обеспечивает изменение многого при помощи относительно незначительного влияния. Иерархические модели мышления распространены в кибернетике. В структуре образа та или иная концептуальная схема играет роль элемента исходной генетической структуры.

Отношение отдельной концептуальной схемы к образу может быть также пояснено на примере аксиоматической теории. Совокупность термов теории может рассматриваться как концептуальный аппарат, совокупность аксиом — как концептуальная схема, а множество выводимых из них теорем — как образ, порождаемый этой концептуальной схемой.

Как мы отмечали в [8], всю область деятельности людей можно разбить на *сферу рутинных действий*, основанных на относительно фиксированных стереотипах поведения, которые не требуют их осмысления, и на *сферу решения проблем*, в которой результат может быть достигнут только благодаря улучшению понимания вещей. Рутинное поведение требует, как можно думать, в основном только использования образа статических и механических структур. Даже относительно сложные виды поведения, какие могут иметь место в научных исследованиях, могут быть основаны на традиции, а не на понимании.

Улучшение понимания, по крайней мере, отчасти достигается изменением образа правил, дающих картину отношений между частями мира. Следует предполагать, что образ правил имеет иерархическую структуру. Успешное решение проблемы данного класса устанавливает рутинное поведение, воспроизводящееся в последующих сходных случаях. В дальнейшем при решении подобных проблем используются только образы статической и механической структур, хотя осознание может присутствовать. В случае сохранения осознания и в дальнейших актах проблемой является только то, что требует изменения на более высоких уровнях образа правил. «Видение» мира есть выражение граничного уровня в образе правил, ниже которого индивид использует рутинные виды поведения.

Концептуальная схема системного анализа, особенно его ядро — процессное описание, производит радикальное изменение на относительно высоких уровнях образа правил. Нет необходимости объяснять, что в этом случае изменению подвергаются многие части образа. Это изменение имеет конструктивный, т. е. опера

ционный, характер в тех частях образа, которые связаны с решением проблем. В частности, происходят существенные изменения в образах реальности и неопределенности остальных частей образа: многие структуры переносятся в разряд тех, которые нуждаются в пересмотре. Взаимодействие между индивидами, овладевшими этим способом мышления, происходит без затруднений. При взаимодействии с индивидами, не овладевшими таким способом мышления, возникают чрезвычайно сложные формы индивидуального и парного поведения.

Характерными являются также два эффекта освоения концептуальной схемы: длительное некритическое использование вновь освоенной концептуальной схемы; стремление развивать только что освоенную концептуальную схему. В первом случае новые структуры частей образа вначале закрепляются как определенные и реальные. Изменения определенности и реальности происходят на более поздних стадиях освоения концептуальной схемы, когда сознается неопределенность, вызываемая новой концептуальной схемой на более высоких уровнях образа правил. При этом возникает более осторожное использование концептуальной схемы. Она уже не отождествляется с реальностью, а рассматривается как один из возможных инструментов изучения реального мира.

Большой интерес представляет оценка изменений образа при освоении той или иной концептуальной схемы. Такие оценки могут служить основой для сравнения концептуальных схем.

Первая характеристика такого сорта есть *осваиваемость концептуальной схемы*. Очевидно, что осваиваемость не может быть определена вне характеристик образа, которым располагает данный индивид. Тип мышления консервативный, стремящийся сохранить все элементы образа, будет давать низкую осваиваемость. Противоположный тип мышления, нормой поведения которого является «примеивание» различных концептуальных схем, их сравнение, отбор и использование, будет давать высокую осваиваемость.

Вместе с тем осваиваемость зависит от того, сколь легко осуществляется интерпретация понятий концептуальной схемы, насколько обширны изменения, которые должны произойти в образе, а также от объема концептуальной схемы и других, не менее важных условий.

Другая характеристика может быть названа *практической эффективностью концептуальной схемы*. Видимо, возможны такие случаи, когда, несмотря на большие изменения в образе, операционное содержание поведения меняется мало. Поэтому практическая эффективность концептуальной схемы не может характеризоваться только общим объемом изменений, происходящих в образе. Только влияние на ту его часть, которая действительно определяет тип поведения и которая может быть названа *операционной структурой*, определяет практическую эффективность новой концептуальной схемы.

Практическая ценность концептуальной схемы системного анализа определяется адекватностью определяемого этой схемой типа поведения текущим потребностям общественного развития — необходимостью во все большей степени учитывать многочисленные связи процессов. Относительно легкое освоение этой концептуальной схемы также способствует увеличению ее ценности. Расчленение схемы на ряд последовательных уровней позволяет осуществлять последовательное осмысление его положений. Процессное описание расчищает путь для функционализма. Мощност концептуальной схемы возрастает благодаря постулированию функциональных структур, в особенности функций решения проблем.

5

Рассматривая перспективы развития системного анализа в современных условиях, мы можем различить два основных направления, реализация которых зависит от характера целостности общественной организации.

Одно направление, назовем его условно полуэмпирическим, рисует будущее системного анализа как *массовую деятельность людей*, основанную на процессном понимании реального мира и использовании относительно слабых функциональных структур, по построению или перестройке организаций и, следовательно, по решению проблем. Представляет большой интерес изучение предельных состояний, к которым может привести это направление развития. Заведомо ясно, что организации и их деятельность могут быть значительно улучшены в рамках этого направления. Полуэмпирическое направление может также явиться средством для решения труднейшей проблемы *«маленького шага в правильном направлении»* при совершенствовании организации. Однако, поскольку это направление не может выразить и, следовательно, контролировать сложные отношения между процессами организации (из-за слабости функциональных структур), останется значительная сфера *не концептуального* понимания и деятельности.

Собственно процессное описание поможет выделить *ряд типов целостностей*. Примерами одного типа, который мы назовем «линейными целостностями», могут быть:

целевые целостности, т. е. полные совокупности процессов, обеспечивающих достижение определенной цели;

ресурсные целостности: совокупности ресурсов, которые выступают как потенциально возможные элементы входа данной группы процессов;

зоны влияния научных открытий: совокупности процессов, выступающих как потенциально изменяющиеся при реализации данного открытия.

Процессное описание даст также возможность выделить целостности другого типа, которые мы здесь назовем «кольцевыми целостностями». Такого вида целостности возникают всякий раз,

когда элемент выхода некоторой системы непременно является элементом ее входа (например, вторичное использование материалов).

Практическое значение выделения этих типов целостностей и приведения организаций в соответствие с их структурой будет весьма значительным. Изменение способа мышления, обусловливающее эти улучшения, до некоторого пункта развития методологии решения проблем является альтернативой построению мощных формальных систем, интегрирующих знания и деятельность

Насколько эффективным может быть подход, опирающийся на сравнительно слабые формы функционализма, показывает пример перестройки организации, приведенный в [17]. Несомненно, что наряду с процессным описанием слабые формы функционализма окажут существенное влияние на организацию и практику решения проблем.

Второе направление связано с дальнейшим развитием функционализма. Важнейшей задачей здесь является построение *абсолютной номенклатуры функций*, т. е. типов качественно различных процессов. В настоящее время уже достигнуты определенные успехи в использовании некоторых простых форм функционализма (помимо того, что содержится в системном анализе). Примерами могут служить «функциональный анализ конструкции» [16], морфологический анализ [15]. Как далеко идут возможности функционализма, показывает попытка постулирования функций материалов [6].

Ближайшими задачами функционализма, как нам кажется, является постулирование структуры открытой системы, создания операционной модели теории, модели технической системы и других подобных моделей.

На очереди также создание третьего уровня концептуальной схемы системного анализа, который постулирует *классы переходов структур*. На основе такой концептуальной схемы станет возможным анализ различных форм самоорганизации. Характерным примером этого аспекта развития системного анализа является работа [14]. Видимо, постулатов этого уровня будет достаточно, чтобы объяснять явления *специализации* и *кооперирования*. Однако достаточно ли этого уровня для описания всех явлений развития пока не ясно.

На более высоких уровнях второго направления находятся постулированные структуры огромных масштабов и сложности. Здесь, собственно, проходит *граница системного анализа как конкретно-исторического явления*, за которой начинается область, для которой еще нет названия.

Обширные структуры могут развиваться из относительно слабых концептуальных схем или же сразу иметь в основе мощные концептуальные схемы. Примеры таких построений существовали задолго до появления системного анализа. Например, для объяснения организаций школой «социальных систем» (см. в [3]

была использована обширная концептуальная схема, которая в значительной своей части опиралась на процессное представление организации. Проблемы построения организаций и моделей организаций на основе подобных подходов рассмотрены в [12]. Имитационные модели организаций, включающие большое количество переменных, построены и применены для решения практических проблем.

Как нам представляется, такие направления, которые стремятся сразу постулировать широкую концептуальную схему, как это видно особенно ярко из работы [12], находятся сейчас в *методологическом кризисе*. Присущее таким направлениям стремление к конструированию, удерживанию, изменению больших структур с целью их отработки, а также их идентификации с реальными объектами, методологически не обеспечено.

Более перспективным представляется развитие обширных структур на основе *«генетического метода»* [9]. Этот метод основан на гипотезе, утверждающей, что существует конечная номенклатура фундаментальных функциональных структур. Многоаспектное объединение и последовательное развертывание этих структур позволяет порождать структуры любого масштаба и сложности. Однако контроль за этими структурами и управление ими оказываются возможными благодаря их «генетической» конструкции. Мы упоминаем здесь об этом только для того, чтобы оттенить границу операциональной роли системного анализа.

Значение первого (выделение процессных целостностей) и второго (функционализм) направлений развития системного анализа для практики зависит от характера целостности социального объекта, по отношению к которому применяется системный анализ. *При относительно низкой целостности* большую роль играют более слабые формы системного анализа, а применение более сильных форм наталкивается на большие организационные трудности. *При высоких уровнях целостности*, когда существующая организация уже ориентирована на анализ проблем целого, но пользуется слабыми методами, более перспективным является применение сильных форм функционализма или упоминавшихся мощных методов, находящихся за границами системного анализа, как такового. Возможно, что слабые формы системного анализа вообще не будут приживаться в условиях высокого уровня целостности. Только скачкообразное, глубокое, качественное изменение окажется в этих условиях жизненным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берталанфи Л. фон. Общая теория систем — критический обзор. — «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
2. Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Системный подход: предпосылки, проблемы, трудности. М., 1969.
3. Гейшлани Д. М. Организация и управление. Социологический анализ буржуазных теорий. М., 1970.

4. Заде Л. Понятие состояния в теории систем.— «Общая теория систем». М., 1966.
5. Квейд Э. Анализ сложных систем. М., 1969 (оригинал — 1955).
6. Кузнецов П. Г., Стахеев Ю. И. Термодинамические аспекты труда как отношения человека к природе.— «Природа и общество». М., 1968.
7. Ляпунов А. А. О рассмотрении биологии с позиций изучения живой природы как большой системы.— «Проблемы методологии системного исследования». М., 1970.
8. Никаноров С. П. Системный анализ: этап развития методологии решения проблем в США.— С. Л. Оптнер. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М., 1969.
9. Никаноров С. П. Генетический подход к разработке систем управления. «II Всесоюзная конференция по технической кибернетике, 21—23.X 1969, Минск. Сборник тезисов НТОРЭиС им. А. С. Попова». М., 1969.
10. Оптнер С. Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М., 1969.
11. Чернышевский Н. Г. Основания политической экономии Д. С. Милля. СПб., 1909.
12. «Approaches to Organizational Design». Pittsburg, 1966.
13. Boulding K. The Image. N. Y., 1966.
14. Mesarovic M. D. Multilevel Systems and Concepts in Process Control.— «Proc. of the IEEE», 1970, v. 58, № 1.
15. «New Methods of Thought and Procedure». Berlin, 1967.
16. «Value Engineering in Manufacturing». Englewood, 1967.
17. Young S. Management: A Systems Analysis. Glenview, Ill., 1966.

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ СИСТЕМЫ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМНОГО ЭТАЛОНА

В. Г. ГОРОХОВ

Представления исследуемых объектов в виде систем (системные представления) в последнее время все более и более используются представителями конкретных наук для решения стоящих перед ними проблем. Широкое применение системного подхода в современной науке ставит задачу описания процедуры введения в науку системных представлений, иначе говоря, процедуры перехода от несистемных представлений к системным.

Прежде чем приступить к конкретному системному исследованию, каждый исследователь имеет определенный эталон (идеал) системы, на который он ориентируется при переходе к системным представлениям. Именно в соответствии с таким системным эталоном исследователь строит свой системный предмет. Такой эталон формируется обычно стихийно и, как правило, не фиксируется в явном виде.

Одна из основных задач общей теории систем состоит в том, чтобы построить и описать системные эталоны, используемые в науке. Мы специально говорим о «системных эталонах», а не о «системном эталоне», так как предполагаем, что многообразие значений понятия «система» неизбежно влечет за собой возможность различных подходов к построению системного эталона. Различные решения этой задачи образуют, по удачному выражению С. Сеггупты и Р. Акофа, «нормативную часть» теории систем [2].

Из анализа различных вариантов общей теории систем (см., например, [2], [7]) можно сделать вывод о том, что понятие системы рассматривается в нескольких различных планах. Это позволяет выделить пять типов системных представлений: микроскопическое, функциональное, макроскопическое, иерархическое и процессуальное. Ниже дается описание каждого из этих типов системных представлений и в заключение делается попытка синтеза этих представлений для формирования системного эталона.

При описании каждого типа системных представлений мы исходим прежде всего из некоторого содержательного понимания системы и затем описываем совокупность системных понятий, связанных с этим представлением. Следует иметь в виду-

что выделяемые нами типы системных представлений связаны между собой и поэтому некоторые понятия могут встречаться в описании различных представлений. В своем анализе мы не претендуем на то, что совокупность рассматриваемых нами системных понятий является полной (более развернутые описания системных понятий даны в статьях В. Н. Садовского и Э. Г. Юдина [6] и О. Юнга [14]).

Микроскопическое представление системы основано на интуитивном понимании ее как *множества*. Такое понимание системы тесно связано с использованием аппарата теории множеств. Часто система интерпретируется как множество наблюдаемых и измеряемых величин [2], [10], [13]. Такая интерпретация основана на том, что система как предмет исследования выделяется из объекта. Например, И. Клир [11] утверждает, что объект исследования можно представить как множество величин, измеряемых или наблюдаемых. Затем из объекта выделяются интересующие исследователя величины, которые и представляют собой систему.

Центральным для микроскопического представления системы является понятие *элемента*, которое используется в науке обычно как символ неделимости, как синоним демокритовского атома. Конечно, в общем виде элемент лишь относительно неделим, однако для данной системы он является абсолютно неделимым. Элементы могут существовать только в связанном виде; там, где есть элементы, обязательно устанавливаются *реальные связи*. Например, в электрической цепи, если по ней не течет ток, нет электрических связей, следовательно, нет и элементов; элементы появляются только тогда, когда цепь подключена к источнику электрической энергии; в ней образуются реальные электрические связи и можно говорить о существовании элементов, которые они связывают.

Для микроскопического представления системы важным является также понятие *структуры*. Анализ этого понятия специально посвящен ряд работ. Иногда структура связывается с процессуальным представлением системы [2], [12] и тогда она определяется как инвариантный аспект системы (Н. Ф. Овчинников [5]). Чаще понятие структуры отождествляется с совокупностью связей (см., например, [4]). Однако, с нашей точки зрения, понятие структуры следует относить к топологическим характеристикам системы, т. е. оно фиксирует расположение элементов и связей в данной системе. Например, в радиоэлектронике электрические схемы (как графическое изображение) описывают определенную структуру, где транзистор, источник коллекторного напряжения, сопротивление нагрузки и источник смещения и т. п. — элементы, а соединяющие их линии (проводники) — реальные электрические связи.

Функциональное представление системы связывается обычно с пониманием системы как совокупности *действий (функций)* для достижения определенной *цели*. Это представление также основано на понятии элемента.

Элементы имеют свойства, которые могут быть разделены на свойства первого порядка и свойства второго порядка. Свойства первого порядка — это те свойства, ради которых данный элемент включается в систему для выполнения общей цели, стоящей перед всеми ее элементами. Свойства второго порядка — это те нежелательные свойства, которые привносит с собой элемент в систему. Например, свойством второго порядка для усилителя являются нелинейные искажения усиливаемого сигнала, для транзистора — низкая надежность, для электронных ламп — чувствительность к перегрузкам и т. д.

Для функционального представления системы характерно отнесение выделенных групп свойств к различным объектам. Свойства первого порядка, или функциональные свойства элемента, фиксируются в понятии «функциональное место». Между функциональными местами в системе существуют функциональные связи, или отношения. Например, в геометрии Гильберта, которая оперирует объектами первого, второго и третьего родов, эти объекты представляют собой фактически функциональные места, которые могут быть различно заполнены (например, для евклидовой геометрии им соответствуют точки, прямые и плоскости) и между которыми существуют отношения (принадлежности, порядка, конгруэнтности). Синонимом понятия «структура» для функционального представления служит понятие *функциональной структуры*, которое иногда заменяется понятием *организации* [8]. Свойства же второго порядка фиксируются в понятии *наполнения* [1]. Например, в усилителе функциональное место «ключевой элемент» может иметь различные наполнения, в одном случае электронную лампу, в другом — магнитопровод.

Макроскопическое представление системы — понимание системы как *целого*. Здесь центральным является понятие *системного окружения*. У. Росс Эшби [10] и И. Кларк [12] непосредственно берут содержание этого понятия из биологических представлений отношения «организм — среда»: например, у У. Росс Эшби окружающая среда системы — это «те переменные, которые изменяются в результате поведения организма» [10]. В концепции А. Холла и Р. Фейджина [2] окружающей средой для данной системы является совокупность всех объектов, изменение свойств которых влияет на систему. Этот термин у А. Холла и Р. Фейджина имеет нетривиальный смысл, так как окружающая среда фактически представляет собой теоретическую систему, в рамках которой взяты интересующие нас идеальные объекты для решения данной задачи.

Понятие «системное окружение» имеет принципиальное значение для определения системы, так как ни одна система не может быть рассмотрена вне системного окружения. Системное окружение — это та реальность, которая описана на языке данной теории и в пределах которой рассматривается система данного типа. Например, никакая физическая система не может быть понята вне физической реальности; электрон как волновая система — вне ре-

альности, описываемой квантовой механикой; механизм — вне реальности, в которой выполняются законы классической механики. Единственной возможной действительностью для последнего случая (такой, где выполняются законы механики) является абсолютное ньютоновское пространство. Только в нем может быть рассмотрена механическая система.

Дихотомическое деление на систему и системное окружение позволяет характеризовать систему как множеством внешних связей, или внешней структурой [9], так и функционально — совокупностью внешних функциональных отношений.

Иерархическое представление системы широко используется на современном этапе развития системных исследований. В этом плане система понимается как иерархическая упорядоченность. Иерархическое представление системы основано на понятии *подсистемы*, или *единицы*, которое следует отличать от понятия «элемент». Единица обладает функциональной спецификой целого (системы). Таким образом, система может быть представлена в виде совокупности единиц, составляющих системную иерархию. Например, электрическая схема радиолокационной станции может быть представлена в виде четырехполюсника и разложена в иерархию четырехполюсников-единиц (усилителей, генераторов, отдельных каскадов усилителей и т. д.).

Системная иерархия замыкается снизу *предельной единицей*, которая все еще сохраняет основные черты системности, но не может быть разложена на единицы, а только — на элементы. Например, молекула аммиака уже не может быть разложена на молекулы. Она разлагается только на атомы (т. е. элементы), что выражается химической формулой NH_3 .

Система, если она не предельная единица, не может быть разложена на элементы. Только построив системную иерархию и дойдя до предельной единицы, можно, разложив последнюю на элементы, представить элементарное строение системы. Например, общество не может быть непосредственно сведено к сумме индивидов. Только разложив его в ряд единиц (класс, народность, соседская община и т. д.) вплоть до предельной единицы — первичной группы, — можно представить элементарную структуру общества.

Совокупность единиц, принадлежащих одному горизонтальному ряду системной иерархии, назовем *уровнем иерархии*. Другим важным понятием иерархического представления системы является понятие *уровня анализа*. Уровень анализа характеризует глубину системной иерархии от системы как целого до элементов и выражает предел делимости данной системы на подсистемы. Например, при рассмотрении информационной системы как четырехполюсника мы имеем системное окружение, описываемое в основной теорией информации. Разлагая эту систему в иерархию четырехполюсников вплоть до предельной единицы (например, генератор синусоидальных колебаний), мы получаем его структуру, состоящую из двухполюсников. Если теперь рассматривать какой-либо

конкретный двухполюсник (например, резистор) как систему, то мы перейдем на другой уровень анализа, где системное окружение описывается теорией электричества. Важным понятием в рамках иерархического представления системы является понятие компоненты. Компонента представляет собой единицу, реализованную определенной структурой. Компонента, так же как и элемент, характеризуется как свойствами первого, так и свойствами второго порядка.

Процессуальное представление системы предполагает ее понимание как последовательности состояний во времени. Основным понятием здесь является понятие *периода жизни* — временного интервала, в течение которого данная система существует. Период жизни T разбивается на ряд состояний $S_0, S_1, \dots, S_n$. Например, изменение теоретических представлений о солнечной системе можно описать как определенный процесс. В этом процессе могут быть выделены по крайней мере три состояния: геоцентрическое представление (Птоломей), представление Тихо де Браге и гелиоцентрическая система мира Коперника. Совокупность указанных состояний представляет собой теоретическую систему (астрономическая теория, рассмотренная как процесс).

Анализируя состояние системы в данный момент, а также ее прошлые состояния, можно выделить инварианты в структуре и организации системы, на основе которых можно предсказать ее будущие состояния.

Связь между отдельными состояниями внутри периода жизни системы выражается понятием *связи перехода*. Связи перехода соединяют отдельные состояния развития понятия в одно целое, характеризующее этим понятием. Например, если описать связи перехода от представления атома как неделимого через его планетарное представление к современному корпускулярно-волновому представлению, то получим период жизни понятия «атом» в атомной теории, где различные представления (модели) атома являются его состояниями. Совокупность двух состояний, соединенных между собой связями перехода, образует единицу перехода, или единицу процесса.

Синтез системных представлений в системном эталоне. Проведенное описание различных системных представлений является, конечно, весьма схематичным. Более глубокое исследование системных представлений предполагает использование определенных формальных средств, которые будут различными для разных представлений. Для описания микроскопического представления системы наиболее пригоден, по-видимому, аппарат теории множеств, для функционального — формальный аппарат исследования операций, для процессуального — аппарат вероятностных и статистических методов, и т. д.

Как мы уже отмечали, в рамках общей теории систем важное значение имеет вопрос о *синтезе* различных системных представлений в системном эталоне. Способы такого синтеза зависят прежде

всего от конкретных задач, которые пытаются решать те или иные исследователи в системном плане. Ниже мы изложим соображения о способе построения обобщенного системного эталона, отдавая себе отчет, что для конкретных задач иногда достаточно использовать частные системные эталоны. Эти эталоны могут быть получены из обобщенного эталона путем элиминирования тех или иных его компонентов.

Наиболее полное описание системного эталона предполагает присутствие всех вышеописанных системных представлений. Возможный способ синтеза элементарных системных представлений в обобщенном системном эталоне может быть следующим. Каждое состояние системы должно быть представлено как совокупность системы и системного окружения; сама система может быть развернута в иерархию единиц вплоть до предельного уровня иерархии. Одновременно каждая единица системы должна быть представлена как совокупность функциональных мест и отношений, наполненных определенной структурой. Процессуальное, макрокопическое, иерархическое, функциональное и микрокопическое представления взаимодополняют друг друга. Например, процессуальное представление системы может быть более полно описано с точки зрения изменения структуры данной системы. Функциональное описание существенно дополняет микрокопическое системное представление: при описании структуры системы выделяются одновременно и функциональные характеристики ее элементов. Синтез системных представлений позволяет дать достаточно полное описание системы.

Обобщенный системный эталон предполагает определенный способ «движения» по нему. Из предыдущего изложения очевидно, что период жизни системы, системное окружение и наполнение функциональных мест должны быть заданы извне (как при анализе, так и при проектировании систем). Это предопределяет способ «движения» от одного представления к другому: от процессуального представления — к макрокопическому и далее — через иерархическое к функциональному, а от него — к микрокопическому системному представлению.

Этот порядок перехода сохраняется и для частных вариантов системных эталонов, которые могут быть следующими: 1) отсутствует процессуальное представление: исследование начинается с системного окружения; 2) системная иерархия свернута в один уровень иерархии (при прочих равных условиях); 3) выполняется условие 2) и, кроме того, отсутствует процессуальное представление системы.

Обобщенный системный эталон выполняет, по нашему мнению, важные эвристические функции прежде всего в результате задания модели системы и определения необходимых условий системного по своему типу исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Генисаретский О. И.* Специфические черты объектов системного исследования.— «Проблемы исследования систем и структур». Материалы к конференции. М., 1965.
2. «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
3. *Месарович М. Д.* Основания общей теории систем.— «Общая теория систем». М., 1966.
4. «Методологические вопросы системно-структурного исследования». Тезисы докладов. М., 1967.
5. *Овчинников Н. Ф.* Категория структуры в науках о природе.— «Структура и формы материи». М., 1967.
6. *Садовский В. Н., Юдин Э. Г.* Задачи, методы и приложения общей теории систем.— «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
7. «Системные исследования. Ежегодник 1969». М., 1969.
8. *Щедровицкий Г. П.* Проблемы методологии системного исследования. М., 1964.
9. *Щедровицкий Г. П.* О принципах классификации наиболее абстрактных направлений методологии структурно-системных исследований.— «Проблемы исследования систем и структур». Материалы к конференции. М., 1965.
10. *Эшби У. Росс.* Конструкция мозга. М., 1962.
11. *Klir J.* Processing of General Systems Activity.— «General Systems», 1967, v. XII.
12. *Klir J.* An Approach to General Systems Theory.— «General Systems», 1968, v. XIII.
13. *Klir J., Vallach M.* Cybernetic Modelling. N. Y., 1967.
14. *Young O. R.* A Survey of General Systems Theory.— «General Systems» 1964, v. IX.

ФОРМАЛЬНЫЙ АППАРАТ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ

ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМЫ

Н. Н. КАСЬКОВ

Цель этой статьи — ввести достаточно точное и строгое определение понятия системы. В качестве источника, из которого черпаются основные понятия, необходимые для определения системы, используется теория множеств. Система определяется как математическая структура с несравненно более богатыми свойствами, чем структуры теории множеств. Поэтому теория систем, базирующаяся на полученном или аналогичных определениях системы, вряд ли могла бы быть рассмотрена как часть теории множеств.

К сожалению, недостаток места не позволил развить более содержательные следствия из полученного определения системы. Поэтому уместно сделать несколько замечаний, касающихся путей получения этих следствий. Можно ввести классификацию систем и рассмотреть общие свойства систем различного типа. Системы можно рассматривать как алгебраические системы. Очевидно, что в этом случае открывается возможность использовать мощный аппарат алгебры для исследования разных типов систем. Отношение гомоморфизма систем несравненно более содержательно, чем рассматриваемое в данной статье отношение изоморфизма систем.

Идеи, изложенные в настоящей статье, почерпнуты из многих работ ([3], [5], [6], [7], [8], [9]). И лишь необходимость быть кратким заставила отказаться от интересного сравнительного анализа различных определений системы.

1. Необходимые сведения из теории множеств

Для построения теоретико-множественного определения понятия «система» нам необходимы сведения из теории множеств в объеме первой главы работы А. И. Мальцева «Алгебраические системы» [4] и сводки результатов «Теории множеств» Н. Бурбаки [1]. Не излагая здесь общеизвестные теоретико-множественные понятия и операции, мы лишь перечислим несколько теорем, необходимых нам в дальнейшем.

Пусть множество операций F определено на множестве M . Часть M_1 множества M называется замкнутой относительно операций $F_1 \subseteq F$, если, выполняя любую операцию из F_1 над элементами множества M_1 , мы получаем элемент этого же множества. Операции из F_1 назовем замкнутыми в множестве M_1 .

Операции объединения и пересечения для отображений не являются замкнутыми, что следует из следующей теоремы (см. [4, стр. 22]).

Теорема 1. Объединение (пересечение) двух отображений множества A в множество B тогда и только тогда будет отображением, когда оба заданных отображения совпадают друг с другом.

Следствие 1. Множество отображений, замкнутое относительно операций объединения и пересечения отображений, состоит из одного элемента.

Теорема 2 (см. [4, стр. 20—21]). Если α — отображение A в B , а β — отображение B в C , то произведение отображений $\alpha \cdot \beta$ есть отображение A в C .

Теорема 3 (см. [4, стр. 22]). Если α — взаимнооднозначное отображение A на B , то обратное отношение α^{-1} будет взаимнооднозначным отображением B на A . Отображение α^{-1} называется обратным для отображения α .

Теорема 4 (см. [4, стр. 24]). Каждому разбиению множества B соответствует эквивалентность на B .

Функция $f(x_1, \dots, x_n)$ существенно зависит от переменного x_i , если существует хотя бы два таких элемента из области ее определения $(a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$ и $(a_1, \dots, b_i, \dots, a_n)$, где $a_i \neq b_i$, на которых $f(a_1, \dots, a_i, \dots, a_n) \neq f(a_1, \dots, b_i, \dots, a_n)$. Фиктивным называется такое переменное, от которого функция не зависит существенно.

Теорема 5. Если дана функция f , то из нее можно получить все функции, равные f , добавлением или изъятием фиктивных переменных.

Теорема 6 (см. [5, стр. 33—35]). n -арное отношение ($n \geq 3$) может быть разложено в произведение $n - 2$ тернарных отношений.

В самом деле, утверждение теоремы справедливо для $n = 3$. Пусть теперь k -арное отношение ($k > 3$) раскладывается в произведение $k - 2$ тернарных отношений. Рассмотрим $k + 1$ -арное отношение $R(x_1, \dots, x_k, x_{k+1})$. Оно раскладывается в произведение двух отношений $R_1(x_1, \dots, x_{k-1}, y)$ и $R_2(y, x_k, x_{k+1})$. Это разложе-

ние всегда осуществимо, потому что множество значений переменного y всегда можно выбрать произвольно, чтобы выполнялись R_1 и R_2 . Отношение R_1 имеет арность k , а отношение R_2 — арность 3. По индуктивному предположению отношение R_1 раскладывается в произведение $k - 2$ тернарных отношений. Следовательно, отношение арности $k + 1$ раскладывается в произведение $k + 1 - 2 = k - 1$ тернарных отношений, что и доказывает теорему.

При разложении n -арного отношения необходимо задавать новые множества.

Теорема 7. При разложении n -арного отношения ($n \geq 3$) в произведение тернарных отношений необходимо задать $n - 3$ новых множеств.

Доказывается так же, как и теорема 6.

Теорема 8. Пусть U — некоторое множество отношений с введенным на нем операцией умножения отношений, и пусть отношение $R(x_1, \dots, x_n)$ получается умножением отношений из $U_1 \subseteq U$. Тогда множество U_1 с определенной на нем операцией умножения отношений упорядочено отношением R .

В самом деле, по аксиоме полной упорядочиваемости, непустое множество U_1 может быть вполне упорядочено. Порядок элементов U_1 можно выбрать таким, что перемножение первого члена последовательности со вторым, полученного результата с третьим членом последовательности и т. д. дает отношение R , из чего следует доказательство теоремы, так как умножение отношений не коммутативно.

Следствие 1. Пусть $U_1 = \{u_1, \dots, u_k\}$. Если U_1 упорядочено отношением R , то получаем последовательность $(u_{i_1}, \dots, u_{i_k})$. Очевидно, что эта последовательность является k -арным отношением $P(u_1, \dots, u_k)$, определенным на U_1 . Оно состоит из одного элемента $(u_{i_1}, \dots, u_{i_k})$. Поставив в соответствие n -арному отношению $R(x_1, \dots, x_n)$ отношение $P(u_1, \dots, u_k)$, будем говорить, что отношение R имеет в множестве U структуру P . Очевидно, что структура P определяется неоднозначно, если некоторые элементы U_1 являются перестановочными отношениями. Обратно, если задана некоторая структура на U , то она будет структурой какого-то отношения, которое может быть пустым, если в структуре существуют два соседних отношения, произведение которых не определено.

Следствие 2 является естественным обобщением следствия 1. Если $(R_i)_{i \in I}$ — семейство отношений, которые могут быть получены умножением отношений из U , то ему соответствует семейство структур $(P_i)_{i \in I}$, определенных на множестве U . Обратно, семейству структур $(P_i)_{i \in I}$, определенных на множестве U , соответствует семейство отношений $(R_i)_{i \in I}$ (см. [1, стр. 395—398]).

Пусть $f(x_1, \dots, x_n) = y$ — любая функция из $A_1 \times \dots \times A_n$ в B , $f_i(x_{i_1}, \dots, x_{i_{k_i}}) = x_i$ — любые функции из $C_{i_1} \times \dots \times C_{i_{k_i}}$ в A_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Для последовательности значений функции

$f_1, \dots, f_n (x_1, \dots, x_n)$, входящих в область определения функции f , определена операция суперпозиции функций, ставящая в соответствие функциям $f, f_1, \dots, f_n$ функцию g , определяемую равенством $g(x_1, \dots, x_{n_{k_n}}) = f(f_1(x_1, \dots, x_{1_{k_1}}), \dots, f_n(x_{n_1}, \dots, x_{n_{k_n}}))$.

Если в функции $f_i(x_{i_1}, \dots, x_{i_{k_i}})$ ввести остальные переменные $x_1, \dots, x_{n_{k_n}}$ в качестве фиктивных, то получаем следующее утверждение: функция $g(x_1, \dots, x_{n_{k_n}})$ определена для тех значений переменных $x_1, \dots, x_{n_{k_n}}$, на которых последовательность значений функций $(f_1(x_1, \dots, x_{1_{k_1}}), \dots, f_n(x_{n_1}, \dots, x_{n_{k_n}}))$ является элементом области определения функции f .

Очевидно, что полученная суперпозицией функция g есть функция из $C_{1_1} \times \dots \times C_{n_{k_n}}$ в B .

Заключительное замечание. В дальнейшем под отношением будем пониматься отношение произвольной арности, а под отображением (функцией) — любое отображение (функция), если не оговорено, какое отношение или отображение (функция) рассматривается.

2. Определение системы

2.1. Связи. Основные свойства связей. Зададим некоторое множество переменных $x_1, \dots, y_1, \dots$ и множества их значений $X_1, \dots, Y_1, \dots$. Переменные $x_1, \dots, x_n$ назовем связанными, если существует непустое n -арное отношение $R = R(x_1, \dots, x_n)$, определенное на множествах $X_1, \dots, X_n$. Отношение R назовем связью. О переменных, связанных отношением R , будем говорить, что они принадлежат или входят в эту связь. Иногда будем говорить, что связь или отношение содержит некоторое переменное, если это переменное принадлежит данному отношению.

Пусть отношение R , содержащее переменные $x_1, \dots, x_n$, определено на множествах $X_1, \dots, X_n$. Значения $x_1^0 \in X_1, \dots, x_n^0 \in X_n$ назовем согласованными в отношении R , если $(x_1^0, \dots, x_n^0) \in R$.

Обозначим через $R^{x_{i_1} \dots x_{i_r}}$ совокупность тех последовательностей $(x_1, \dots, x_n)$ из R , члены которых с номерами $i_1, \dots, i_r$ имеют значение $x_{i_1}, \dots, x_{i_r}$.

Теорема 9. Существует такое множество $(X_{i_1} \times \dots \times X_{i_r})' \neq \phi$, что для всех $(x_{i_1}, \dots, x_{i_r}) \in (X_{i_1} \times \dots \times X_{i_r})'$, $R^{x_{i_1} \dots x_{i_r}} \neq \phi$ и $R^{x_{i_1} \dots x_{i_r}} \subseteq R$.

Если $X_1, \dots, X_n$ не пусты, то $X_1 \times \dots \times X_n \neq \phi$ (см. [4, стр. 71]). Часть последовательностей $(x_1, \dots, x_n)$ множества $X_1 \times \dots \times X_n$ является элементами R . Следовательно, существует непустое множество $(X_1 \times \dots \times X_n)'$, такое что $(X_1 \times \dots \times X_n)' \subseteq X_1 \times \dots \times X_n$, $(X_1 \times \dots \times X_n)' \subseteq R$. Определим множество $(X_{i_1} \times \dots \times X_{i_r})'$ следующим образом: если для составления последовательностей $(x_1, \dots, x_n) \in$

$\in (X_1 \times \dots \times X_n)'$ выбраны элементы из $X_1, \dots, X_n$, то из тех же элементов, взятых из множеств с индексами $i_1, \dots, i_r$, образуются последовательности $(x_{i_1}, \dots, x_{i_r}) \in (X_{i_1} \times \dots \times X_{i_r})'$. Очевидно, что $(X_{i_1}, \dots, X_{i_r})' \neq \phi$ и соответственно построению множества $(X_{i_1}, \dots, X_{i_r})'$ для каждого $(x_{i_1}, \dots, x_{i_r}) \in (X_{i_1} \times \dots \times X_{i_r})'$ будет существовать последовательность $(x_1, \dots, x_n) \in R$, члены которой с номерами $i_1, \dots, i_r$ имеют значение $x_{i_1}, \dots, x_{i_r}$. Следовательно, $R^{x_{i_1} \dots x_{i_r}} \neq \phi$ и $R^{x_{i_1} \dots x_{i_r}} \subseteq R$.

Теорема 10. Для каждого отношения $R = R(x_1, \dots, x_n)$ и для фиксированных переменных $x_{i_1}, \dots, x_{i_k}$ существуют функции f_{j_t} из $X_{i_1} \times \dots \times X_{i_k}$ в X_{j_t} ($t = 1, \dots, n - k$), согласовывающие значения $x_{j_1}, \dots, x_{j_{n-k}}$ со значениями $x_{i_1}, \dots, x_{i_k}$, т. е. $R^{x_{i_1} \dots x_{i_k} x_{j_1} \dots x_{j_{n-k}}} \neq \phi$, $R^{x_{i_1} \dots x_{i_k} x_{j_1} \dots x_{j_{n-k}}} \subseteq R$, где $x_{j_1} = f_{j_1}(x_{i_1}, \dots, x_{i_k}), \dots, x_{j_{n-k}} = f_{j_{n-k}}(x_{i_1}, \dots, x_{i_k})$, а $(x_{i_1}, \dots, x_{i_k})$ — элемент из множества, являющегося пересечением областей определения функций $f_{j_1}, \dots, f_{j_{n-k}}$.

По теореме 9, существует такое множество $(X_{i_1} \times \dots \times X_{i_k} \times X_{j_1})'$, что $R^{x_{i_1} \dots x_{i_k} x_{j_1}} \neq \phi$ и $R^{x_{i_1} \dots x_{i_k} x_{j_1}} \subseteq R$. Определим теперь отношение R_{j_1} на множествах $X_{i_1} \times \dots \times X_{i_k}$ и X_{j_1} следующим образом: элементы $(x_{i_1}, \dots, x_{i_k})$ и x_{j_1} удовлетворяют отношению R_{j_1} , если $(x_{i_1}, \dots, x_{i_k}, x_{j_1}) \in (X_{i_1} \times \dots \times X_{i_k} \times X_{j_1})'$. Очевидно, что функция f_{j_1} , соответствующая отношению R_{j_1} , и будет согласовывать значение переменного x_{j_1} со значениями переменных $x_{i_1}, \dots, x_{i_k}$ в отношении R . Аналогично доказывается существование остальных функций $f_{j_2}, \dots, f_{j_{n-k}}$. Пересечение областей определения этих функций не пусто, что следует из существования такого непустого множества $(X_{i_1} \times \dots \times X_{i_k})' \subseteq X_{i_1} \times \dots \times X_{i_k}$, что для любого его элемента $R^{x_{i_1} \dots x_{i_k}} \neq \phi$ и $R^{x_{i_1} \dots x_{i_k}} \subseteq R$.

Теорема 11. Пусть для отношения $R = R(x_1, \dots, x_n)$ указаны функции f_{j_t} , согласовывающие значение переменных $x_{i_1}, \dots, x_{i_k}$ со значениями переменных $x_{j_1}, \dots, x_{j_{n-k}}$. Если отношение R разложено в произведение $n - 2$ тернарных отношений $R_1, \dots, R_{n-2}$, то существуют функции $g_{j_t} = g_{j_t}(z_{j_t}^1, z_{j_t}^2)$ и $z_r = \varphi_r(x_{i_1}, \dots, x_{i_k})$ ($t = 1, \dots, n - k, r = 1, \dots, n - 3$), согласовывающие значения переменных в $R_1, \dots, R_{n-2}$ и в R . В последнем случае функции f_{j_t} , согласовывающие значения переменных в R , получаются суперпозициями функции g_{j_t} и соответствующим образом выбранных функций $\varphi_1, \dots, \varphi_{n-3}$.

Замечание. $z_{j_t}^1$ и $z_{j_t}^2$ есть одно из $x_{i_1}, \dots, x_{i_k}$ и одно из $z_1, \dots, z_{n-3}$. Кроме того, оба $z_{j_t}^1, z_{j_t}^2$ могут быть различными переменными $z_1, \dots, z_{n-3}$.

Разложим отношение R в произведение $n - 2$ тернарных отношений. Пусть R имеет в множестве $\{R_1, \dots, R_{n-2}\}$ структуру $(R_1, \dots, R_{n-2})$ (следствие 1 из теоремы 8). R_1 зависит от переменных x_1, x_2, z_1 , R_p — от переменных z_{p-1}, x_{p+1}, x_p ($p = 2, \dots, n - 3$), R_{n-2} — от переменных z_{n-3}, x_{n-1}, x_n . Если среди отношений R_p ($p = 2, \dots, n - 3$) есть такие, которые содержат некоторое переменное x_{j_t} ($t = 1, \dots, n - k$), то, по теореме 10, существует функция g_{j_t} , зависящая от z_{p-1} и z_p и согласовывающая значение переменного x_{j_t} со значениями переменных z_{p-1} и z_p . Если отношение $R_1(x_1, x_2, z_1)$ содержит два переменных из $x_{j_1}, \dots, x_{j_{n-k}}$, то, по теореме 10, существуют две функции $g_{j_t}^1(z_1)$ и $g_{j_t}^2(z_1)$, согласовывающие значение переменных x_{j_t} ($t = 1, \dots, n - k$), входящих в R_1 , со значениями переменного x_{j_t} . Наконец, если одно из переменных $R(x_1, x_2, z_1)$ есть x_{j_t} ($t = 1, \dots, n - k$), а второе — x_{i_s} ($s = 1, \dots, k$) то, по теореме 10, существует функция $x_{j_t} = g_{j_t}(x_{i_s}, z_1)$, согласовывающая значение переменного x_{j_t} со значениями переменных x_{i_s} и z_1 . Аналогичные рассуждения проводятся для отношения R_{n-2} . При разложении отношения R переменные $z_1, \dots, z_{n-3}$ и множества их значений выбираются произвольно. Потребуем, чтобы $z_1, \dots, z_{n-3}$ были значениями функций $\varphi_1, \dots, \varphi_{n-3}$ от $x_{i_1}, \dots, x_{i_k}$ и чтобы выполнялись соотношения $x_{j_t} = f_{j_t}(x_{i_1}, \dots, x_{i_k}) = g_{j_t}(z_{j_t}^1, z_{j_t}^2)$ ($t = 1, \dots, n - 3$) (смысл переменных $z_{j_t}^1, z_{j_t}^2$ был объяснен в замечании). Это и доказывает теорему.

Связи семейства $(R_i) i \in \dot{I}$ назовем совместными в двух случаях: 1) когда они не содержат одинаковых переменных; 2) когда часть связей $(R_j) j \in \dot{I} (J \subseteq \dot{I})$ содержит одинаковые переменные $y_1, \dots, y_k$, причем в этом случае существуют такие множества $Y_1, \dots, Y_k$ значений этих переменных, что можно выбрать из них последовательность $(y_1, \dots, y_k)$ значений $y_1, \dots, y_k$, для которой $R_j^{y_1 \dots y_k} \neq \emptyset, R_j^{y_1 \dots y_k} \subseteq R_j$ ($j \in \dot{I}$).

Рассмотрим семейство несовместных связей $(R_i) i \in I$. Пусть $(A_t) t \in T$ — разбиение множества $\dot{I}$. Семейство связей $(R_a) a \in \in A_t$ совместно для каждого $t \in T$, а семейство связей $(R_b) b \in \in B$, где B — объединение произвольного числа множеств A_t — не совместно. Приписав каждому семейству связей $(R_a) a \in A_t$ плотности вероятности, можно говорить, что семейство связей $(R_i) i \in I$ совместно.

Следствие 1. Если $(R_i) i \in I$ семейство совместных связей, то для фиксированных переменных $x_1, \dots, x_n$, принадлежащих этим связям, существует семейство функций $(f_j) j \in J$, согласовывающих значения переменных в каждой связи, отличных от $x_1, \dots, x_n$, со значениями переменных $x_1, \dots, x_n$. Доказательство следует из теоремы 10 и определения совместных связей.

Следствие 2. Если связи $(R_i)t \in T$ получаются разложением совместных связей $(R_i)i \in I$, то они совместны, и для фиксированных переменных $x_1, \dots, x_n$ можно указать семейство функций $(g_k)k \in K$, $(\varphi_l)l \in L$, согласовывающих значения переменных, входящих в $(R_i)t \in T$, отличных от $x_1, \dots, x_n$, со значениями переменных $x_1, \dots, x_n$. Переменные, входящие в $(R_i)t \in T$, но не входящие в $(R_i)i \in I$ исключаются суперпозициями функций из $(g_k)k \in K$ и из $(\varphi_l)l \in L$. Доказательство следует из следствия 2 теоремы 8, теоремы 11 и определения совместных связей.

2.2. Определение системы. Пусть объекту приписаны переменные $x_1, \dots, y_1, \dots$ и указаны множества их значений $X_1, \dots, Y_1, \dots$. Пусть на этих множествах определено семейство отношений $(R_i)i \in I$, образующих семейство совместных связей. Наконец, пусть имеются конкретные функции $(f_j)j \in J$, согласовывающие значения переменных $x_1, \dots, x_n$ с остальными переменными $y_1, \dots, y_m$, отличными от $x_1, \dots, x_n$. Пусть $X = \bigcup_{i=1}^n X_i$, $Y = \bigcup_{j=1}^m Y_j$. Тогда отношения из $(R_i)i \in I$ будут определенными на множествах X и Y , а функции $(f_j)j \in J$ будут в общем случае частичными многозначными функциями из X в Y .

Для этого объекта системой S называется семейство совместных связей $(R_i)i \in I$ между переменными $x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m$ вместе с заданным семейством функций $(f_j)j \in J$, согласовывающих значения переменных $y_1, \dots, y_m$ со значениями переменных $x_1, \dots, x_n$. Определение системы можно записать в виде равенства $S = (x, Y, (R_i)i \in I, (f_j)j \in J)$.

Это определение допускает естественное обобщение. Возьмем произвольное множество A , и пусть для каждого $a \in A$ существует система $S_a = (X_a, Y_a, (R_i)i \in I_a, (f_j)j \in J_a)$. Тогда для объекта система определяется равенством $S = (A, X_a, Y_a, (R_i)i \in I_a, (f_j)j \in J_a)$.

Полагая $B = \bigcup_{a \in A} (X_a \cup Y_a)$, систему можно записать короче $S = (A, B, (R_i)i \in I_a, (f_j)j \in J_a)$.

Множество A назовем средой системы, множество X — входами, множество Y — выходами, семейство $(R_i)i \in I_a$ — связями, семейство $(f_j)j \in J_a$ — законами функционирования или поведения системы.

Если $(f_j)j \in J_a = \phi$ для всех $a \in A$, то S' назовем структурной моделью системы S . Очевидно, что если дана структурная модель S' , то определяя соответствующим образом функции $(f_j)j \in J_a$, согласовывающие значения переменных $y_1, \dots, y_m$ со значениями переменных $x_1, \dots, x_n$, получаем систему S .

Если $(R_i)i \in I_a = \phi$, то получаем функциональную модель системы S . Очевидно, что если дана функциональная модель системы S , то, определяя соответствующим образом отношения $(R_i)i \in I_a$, чтобы $(f_j)j \in J_a$ были теми функциями, которые согла-

совывают значения переменных $y_1, \dots, y_m$ со значениями переменных $x_1, \dots, x_n$, получаем систему S .

Так как существует соответствие между моделями систем и системами, очень часто систему отождествляют с ее моделью.

Рассмотрим два примера.

1) Пусть A — одноэлементное множество; B — множество действительных чисел; $(R_i)i \in I_a = \phi$; $J = \{1, \dots, m\}$, $(f_j)j \in J_a$ — семейство совместных линейных уравнений $a_j x_1 + \dots + a_{jn} x_n = b_j$ ($j = 1, \dots, m$). Очевидно, что $S = (B, (f_j)j \in J)$ — функциональная модель системы или просто система.

2) Пусть X — множество значений переменных $x_1, x_2, \dots$. Множество A — вполне упорядочено. Определим систему следующим образом: если $a \in A$ — наименьший элемент A , то отношения $(R_i)i \in I_a$, связывающие значения переменных $x_1, x_2, \dots$, являются аксиомами узкого исчисления предикатов; для всякого $c \in A$, где $a < c$, к связям $(R_i)i \in I_c$ относятся те формулы, которые могут быть выведены из аксиом или из аксиом и формул $(R_i)i \in I_b$, где $a < b < c$. Очевидно, что $S = (A, X, (R_i)i \in I_a)$ — система, так как узкое исчисление предикатов непротиворечиво, и, следовательно, связи $(R_i)i \in I_a$ — совместны. Очевидно, что в этом случае S — структурная модель системы.

2.3. Конструктивный анализ систем. Пусть имеется структурная модель $S = (A, B, (R_i)i \in I_a)$. Задача конструктивного анализа системы состоит в том, чтобы определить для каждого $a \in A$ по значениям некоторых переменных системы значения ее остальных переменных (см. [3, стр. 167]).

Теорема 12. Не существует общего алгоритма, с помощью которого задача конструктивного анализа могла бы быть разрешима для любой системы.

Для доказательства достаточно указать пример такой системы, для которой не существует общего алгоритма, разрешающего задачу ее конструктивного анализа. В конце 2.2. была построена система узкого исчисления предикатов. Чтобы по заданным значениям некоторых переменных любой формулы можно было вычислять значения остальных переменных этой формулы, необходимо уметь вычислять значение самой формулы. Однако для узкого исчисления предикатов невозможно построить общий алгоритм, разрешающий эту задачу.

Остановимся подробнее на описании некоторых приемов решения задачи конструктивного анализа систем. Конечно, это описание отнюдь не претендует на роль алгоритма (см. [9, стр. 38—61]).

Переменные, входящие в связи структурной модели системы, обычно разбивают на две группы. Первую составляют те переменные, значения которых считаются известными. Их называют входами системы. Вторую составляют те переменные, значения которых хотят определить по значениям входов. Эти переменные называют выходами системы. Для семейства связей $(R_i)i \in I_a$ ищется совокупность функций $(f_i)j \in J_a$, аргументами которых являются

входы системы, а значениями — ее выходы, согласовывающие значения входов и выходов в связях $(R_i)i \in I_a$. Эти функции и решают задачу конструктивного анализа, если с достаточной точностью воспроизводят зависимость значений переменных, приписанных объекту, на котором определена система, структурная модель которой исследуется.

Иногда задача конструктивного анализа существенным образом упрощается, если отношения $(R_i)i \in I_a$ разложены на отношения меньшей арности. При этом необходимо вводятся новые переменные и множества их значений. Переменные, приписываемые системе в процессе разложения ее отношений, называют состояниями этой системы.

По теореме о разложении отношений, отношения из $(R_i)i \in I_a$, имеющие арности больше трех, могут быть разложены на тернарные отношения, так что если $(R_i)t \in T_a$ — некоторое разложение $(R_i)i \in I_a$, то это семейство состоит из тернарных отношений и отношений, имеющих арности меньше трех.

Теорема 13. Всегда можно добиться такого разложения, что отношения $(R_i)t \in T_a$ разбиваются на два семейства, первое из которых содержит те отношения, которые связывают входы и состояния, второе — те отношения, которые связывают состояния и выходы.

Пусть в $(R_i)t \in T_a$ нет отношений, связывающих только входы и состояния. Возьмем любое отношение $R(x, \sigma, y)$, где x — входная переменная, y — выходная, σ — состояние. Оно раскладывается в отношения $R_1(x, \sigma_1)$ и $R_2(\sigma_1, \sigma, y)$. Если в $(R_i)t \in T_a$ содержатся отношения вида $R(x, y)$, то всегда можно представить это отношение в виде $R_1(x, \sigma)$ и $R_2(\sigma, y)$. Отношения $(R_i)t \in T_a$ не могут содержать лишь отношения вида $R(\sigma, y)$, так как предполагается, что множество входов не пусто. Так как множества значений состояний выбираются произвольно, всегда можно добиться соответствующим выбором этих множеств, чтобы семейство связей $(R_i)t \in T_a$ было совместно. Соответственно, двум семействам связей соответствует два семейства функций $(g_k)k \in K$, $(\varphi_i)l \in L$. Первое связывает входы и состояния, второе — состояния и выходы. Задача конструктивного анализа решается, если функции $(g_k)k \in K$, $(\varphi_i)l \in L$ с достаточной точностью воспроизводят зависимость значений переменных, приписанных объекту, на котором была определена структурная модель системы.

Свойство системы отображать значения входов в значения выходов называется поведением или функционированием системы.

При решении задачи конструктивного анализа необходимо учитывать не только то, что среда определяет связи системы, но и то, что значение некоторых переменных $z_1, \dots, z_r$, общих для связей $(R_i)i \in I_a$, $(R_i)i \in I_b$ ($a, b \in A$), в одном семействе связей могут зависеть от того, какие значения они имели в другом семействе связей. Это обычно делается следующим образом. Упорядочивают множество A . Определяют значение переменных $z_1, \dots, z_r$ как

функции от $x_1, \dots, x_n, \sigma_1, \sigma_2, \dots$, где $\sigma_1, \sigma_2, \dots$ — состояния S для $a \in A$. Если функции состояний или выходов для $b \in A$, где $a < b$, зависят от некоторых из переменных $z_1, \dots, z_r$, то сначала представляют эти $z_1, \dots, z_r$ как функции от $x_1, \dots, x_n, \sigma_1, \sigma_2, \dots$ и входов системы при $b \in A$, а затем соответствующие функции состояний выходов при $b \in A$ вычисляются суперпозициями.

Если $z_1, \dots, z_r$ являются состояниями системы для $a \in A$, то тем самым доказана следующая теорема.

Теорема 14. Чтобы определить поведение системы для любого $b \in A$, необходимо задать начальное состояние для $a \in A$, где a — наименьший элемент множества A .

Рассмотрим далее абстрактный автомат $A = (X, \Sigma, Y, \sigma_0, f_\sigma(x, \sigma), f_y(x, \sigma))$. X — множество входов A , Σ — множество состояний, Y — множество выходов, $f_\sigma(x, \sigma)$ — функция состояний, $f_y(x, \sigma)$ — функция выходов. С автоматом связывается дискретное время. В начале работы считается, что автомат находится в состоянии $\sigma_0(t_0) \in \Sigma$. Дальнейшее поведение автомата описывается функциями $\sigma(t) = f_\sigma(x(t-1), \sigma(t-1))$, $y(t) = f_y(x(t), \sigma(t))$, где t — тот момент времени, в который поступает входной сигнал. Очевидно, что абстрактный автомат есть функциональная модель некоторой системы.

В заключении этого раздела необходимо сделать следующее замечание. Исследователь, поставив задачу изучить совместное изменение некоторых свойств объекта, определяет на этом объекте структурную модель системы и находит функции, описывающие поведение системы. В итоге он получает определенную систему, описывающую совместное изменение выбранных свойств объекта. Но выбор переменных в связях $(R_i) i \in I_a$ зачастую определяется желаниями экспериментатора изучить совместное изменение именно определенного числа свойств. Поскольку при этом приходится абстрагироваться от многих других свойств, влияющих в каких-то пределах на выбранные свойства, то требование согласованности и совместности связей $(R_i) i \in I_a$ сильно ограничивает множество значений каждого выбранного переменного. Поэтому, когда исследование завершается определением системы в виде $S = (A, B, (R_i) i \in I_a, (f_j) j \in J_a)$ или $S = (A, B', (R_i) t \in T_a, (g_k) k \in K_a, (\varphi_i) i \in L_a)$ и найдены законы ее функционирования, оказывается, что они верны для объекта лишь в очень узких пределах совместного изменения его свойств.

2.4. Подсистемы: Структуры. Задача синтеза систем. Рассмотрим структурную модель $S = (A, B, (R_i) i \in I_a)$ некоторой системы. Пусть в процессе решения конструктивного анализа ее отношения раскладываются на отношения меньшей арности, то есть из S получается структурная модель $S' = (A, B', (R_i) t \in T_a)$, эквивалентная S в том смысле, что она относится к той же системе. Пусть найдены функции $(g_k) k \in K_a, (\varphi_i) i \in L_a$, описывающие поведение системы. Каждая из этих функций согласовывает значение переменных и какого-то одного

отношения $R \in (R_i) t \in T_a$. Это отношение также определяет на входящих в него переменных систему.

Доказательство этого утверждения немедленно следует из того, что в S' найдутся значения переменных, входящих в R , для которых оно не пусто, а потому связь R совместна. Кроме того, для этой связи существует функция, позволяющая по значениям одних переменных, входящих в R , вычислять значение других переменных R .

Системы, определяемые таким образом, называются подсистемами, или функциональными элементами, или просто элементами системы S .

Пусть имеется множество D подсистем системы S . Отождествим каждую подсистему из D с определяющим ее отношением; в результате получим множество отношений D' . Согласно следствию 2 теоремы 8 из 1, на D' можно ввести семейство отношений, упорядочивающих множество D' таким образом, что можно получить отношения $(R_i) i \in J_a$ системы S . Каждому отношению на D' можно поставить в соответствие отношение на D . Подсистему d_i назовем связанной с подсистемой d_j , если d_i и d_j являются членами одного и того же отношения и $j < i$. Совокупность таких отношений на D , которые определяют отношения $(R_i) i \in J_a$ системы S , назовем структурой этой системы. В силу того, что разложение отношений системы определяется не однозначно, и структура этой системы также определяется не однозначно.

Пусть имеется запас функциональных элементов. Из них нужно построить систему, реализующую заданное семейство функций $(f_j) j \in J_a$. Задача решается определением структуры на множестве D функциональных элементов, т. е. по функциональной модели $S = (A, B, (f_j) j \in J_a)$ требуется найти систему при условии, что имеется другая модель этой системы $S' = (A, B', (g_k) k \in K_a, (\varphi_l) l \in L_a)$. В силу того, что структура систем определяется не однозначно, и решение задачи, если оно возможно, определяется не однозначно.

Задачи такого рода, именуемые задачами синтеза систем, чрезвычайно сложны. Это обусловлено трудностями введения на множествах из функциональных элементов такой структуры, чтобы она определяла систему, реализующую заданные функции (такую систему обычно называют управляемой). Кроме того, элементы, объединенные структурой в некоторую систему, реализуют обычно несколько иные функции, чем те, которые они реализовывали вне системы. Это и вполне понятно, так как необходимость согласовывать входы и выходы подсистем так, чтобы связи системы были совместными, накладывает сильные ограничения на функционирование элементов, что ведет к деформации реализуемых ими функций.

Свойство структуры системы согласовывать функционирование элементов таким образом, чтобы достигалось присущее этой системе поведение, называется целостностью системы.

2.5. Понятие структурного уровня исследования. Когда изучается совместное изменение некоторых свойств объекта, исследователь сначала определяет на этом объекте структурную модель некоторой системы и затем путем разложения ее отношений определяет элементы и структуру некоторой системы. Если по знанию структуры системы и функционирования ее элементов удастся определить поведение системы, то говорят, что выбран достаточный структурный уровень исследования.

Например, когда исследуется некоторый механизм с точки зрения того, какую работу он может выполнять, то интересуются такими деталями этого механизма и таким способом их соединения, чтобы получить исследуемый механизм. К любой детали предъявляются требования быть определенной конфигурации, прочности и т. д. и совершенно абстрагируются от того, что сама деталь является системой и что свойства детали могут быть выведены из структуры этой системы и из некоторых тех ее свойств, которыми пренебрегли. В этом случае имеется один структурный уровень исследования. Другой структурный уровень получается тогда, когда некоторая деталь сама рассматривается как механизм и исследуется, каким образом работа механизма-детали сказывается на работе всего механизма.

2.6. Изоморфизм систем. Две системы $S = (A, B, (R_i) i \in I_a, (f_j) j \in J_a)$ и $S' = (A', B', (R'_i) i \in I_{a'}, (f'_j) j \in J_{a'})$ называются системами одинакового типа, если существует взаимнооднозначное отображение φ A на A' , такое, что для $a' = \varphi(a)$ выполняются условия:

а) существует взаимнооднозначное отображение ψ I_a на $I_{a'}$, и отношения R_i и $R'_{i'}$ с номерами i и i' , где $i' = \psi(i)$ имеют одинаковые арности;

б) существует взаимнооднозначное отображение γ J_a на $J_{a'}$, и функции f_j и $f'_{j'}$, где $j' = \gamma(j)$, имеют одинаковые арности. В системах одинакового типа полагаем $A = A', I_a = I_{a'}, J_a = J_{a'}$.

Две системы $S = (A, B, (R_i) i \in I_a, (f_j) j \in J_a)$ и $S' = (A, B', (R'_i) i \in I_a, (f'_j) j \in J_a)$ одинакового типа называются изоморфными, если существует взаимнооднозначное отображение φ множества B на множество B' и выполняются условия $\varphi(R_i(x_{i_1}, \dots, x_{i_{n_i}})) = R_i(\varphi(x_{i_1}), \dots, \varphi(x_{i_{n_i}})) = R'_i(y_{i_1}, \dots, y_{i_{n_i}})$, $\varphi(f_j(x_{j_1}, \dots, x_{j_{n_j}})) = f_j(\varphi(x_{j_1}), \dots, \varphi(x_{j_{n_j}})) = f'_j(y_{j_1}, \dots, y_{j_{n_j}})$, где $x_{i_1}, \dots, x_{i_{n_i}}$ — переменные системы S , а $y_{j_1}, \dots, y_{j_{n_j}}$ — переменные системы S' . Отображение φ обычно называют отображением системы S на систему S' .

Теорема 15. Отношение изоморфизма систем (две системы находятся в отношении изоморфизма, если они изоморфны) рефлексивно, симметрично и транзитивно.

В самом деле, легко проверить, что S изоморфна самой себе. Для этого нужно определить φ как тождественное отображение B

на себя. Далее, если S изоморфно S' , то существует взаимнооднозначное отображение φ S на S' . Для взаимнооднозначного отображения φ существует обратное отображение φ^{-1} , являющееся также взаимнооднозначным. Очевидно, что φ^{-1} осуществляет отображение S' на S , и поэтому S' изоморфна S . Наконец, если S изоморфна S' , а S' изоморфна S'' , то существуют взаимнооднозначное отображение φ S на S' и взаимнооднозначное отображение ψ S' на S'' . Произведение $\varphi \cdot \psi$ будет взаимнооднозначным отображением S на S'' . Поэтому S изоморфна S'' .

Следствие 1. Отношение изоморфизма систем разбивает множество всех мыслимых систем на непересекающиеся классы, в каждый из которых входят изоморфные системы. Доказательство немедленно следует из теоремы 15 и теоремы 4 из 1.

Следствие 2. Чтобы построить по заданной системе $S = (A, B, (R_i)i \in I_a, (f_j)j \in J_a)$ изоморфную ей систему, заданную на B' , нужно задать взаимнооднозначное отображение B на B' и определить отношения и отображения на B' равенствами $R(\varphi(x_1), \dots, \varphi(x_n)) = R'(y_1, \dots, y_n)$, $f(\varphi(x_1), \dots, \varphi(x_n)) = f'(y_1, \dots, y_n)$. Очевидно, что эта задача имеет решение в том случае, если отображение φ B на B' существует. Решение этой задачи не является однозначным. Для доказательства достаточно взять два различных отображения φ и ψ B на B' . Каждое из них будет решать поставленную задачу различным образом, то есть $R(\varphi(x_1), \dots, \varphi(x_n)) \neq R(\psi(x_1), \dots, \psi(x_n))$, $f(\varphi(x_1), \dots, \varphi(x_n)) \neq f(\psi(x_1), \dots, \psi(x_n))$.

Сформулируем без доказательства следующую теорему.

Теорема 16. Пусть существует взаимнооднозначное отображение φ множества систем D на множество систем D' , такое, что образы и прообразы этого отображения являются изоморфными системами. Если на D определена структура, объединяющая элементы D в систему S , то отображение φ определяет на D' аналогичную структуру, объединяющую элементы D' в систему S' , изоморфную S .

Заключение

На основании проведенного анализа можно сформулировать основные черты системного подхода, который в современной науке в значительной степени связывается с решением проблем синтеза систем (см. [3, стр. 25—32, стр. 125], [5, стр. 183—186], [7, стр. 16—17], [8, стр. 8—13]). Основные черты системного подхода можно резюмировать в следующих положениях: 1) любой изучаемый объект может быть представлен как система; 2) конкретный вид системы на изучаемом объекте определяется не столько его элементами и связями между ними, сколько тем, какое поведение этого объекта исследуется (например, если ставится задача "изучить" движение маятника часов, то соответствующая система включает переменные, характеризующие такие свойства маятника как его длина, масса, угол отклонения, угловая скорость и угловое ускорение;

остальные свойства маятника — в частности, материал, из которого он сделан, и т. д. в данном случае не принимаются во внимание); 3) если выбраны элементы системы, то изучение их свойств и функционирования вне зависимостей от связей системы не имеет смысла; в системном исследовании реализуется примат структуры над свойствами и функционированием элементов; 4) поведение системы не выводимо из воздействий среды. Необходимо учитывать внутреннюю структуру системы, которой в основном и определяется ее поведение; 5) множество всех систем разбивается на изоморфные классы, для каждого из которых существуют единые методы описания поведения систем.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бурбаки Н. Теория множеств. М., 1965.
2. Гильберт Д., Аккерман В. Основы теоретической логики. М., 1947.
3. «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
4. Мальцев А. И. Алгебраические системы. М., 1970.
5. «Общая теория систем». М., 1966.
6. «Проблемы методологии системного исследования». М., 1970.
7. «Проблемы формального анализа систем». М., 1968.
8. «Системные исследования. Ежегодник 1969». М., 1969.
9. Эшби У. Росс. Конструкция мозга. М., 1964.

СИСТЕМА, ЕЕ АКТУАЛИЗАЦИЯ И ОПИСАНИЕ

В. А. ВИНОГРАДОВ, Е. Л. ГИНЗБУРГ

0. При обсуждении вопросов, связанных с определением и описанием систем, представляется нелишним предварительное выяснение онтологической ценности самого понятия системы. В связи с этим разумно полагать, что всякой системе соответствует ее *окружение* (среда). Граница между системой и окружением достаточно подвижна и в абсолютном плане вряд ли определима. С одной стороны, система может быть редуцирована до одного элемента, и в этом случае обычно говорят о неразложимости системы. Можно также говорить о ее элементарности, если в указанном случае она есть часть другой системы. Система может быть редуцирована и до нуля, и если она является частью другой системы, то говорят о значимом отсутствии объекта, о его предсказуемости, хотя и ненаблюдаемости.

С другой стороны, редуцированным до нуля может быть и само окружение системы. В некотором смысле о такой системе можно говорить как о замкнутой. Для многих системных явлений существенно, наконец, и то, что система может быть сопоставлена одному из элементов среды — системе более высокого порядка. Относительная граница системы и среды фиксируется всякий раз той доминантой, тем аспектом организации системы, который важен для нее в данный момент. Отграничение системы от окружения — одна из задач исследования системы. Существенным вкладом в результат анализа системы должно быть признано установление условий и средств отделимости системы от ее среды.

1.1. Хотя объект описания системы — система в себе и для себя, цель анализа не должна быть сведена (и более того — не может быть сведена) к построению «действующих» макетов этой системы. Онтологическая ценность системных исследований, как можно думать, определяется гипотезой, которую можно условно назвать «гипотезой семиотической непрерывности». Согласно этой гипотезе, система есть образ ее среды. Это следует понимать в том смысле, что система как элемент универсума отражает неко-

торые существенные свойства последнего и находится в определенном отношении с другими системами, образующими ее окружение. Опирируя с системой, мы оперируем одновременно с ее окружением.

Можно продолжить семиологическое определение системы, допустив, что она может быть не только образом синхронного состояния окружения, но и образом его истории. Изменение системы есть одновременно и изменение окружения, причем источники изменения могут корениться как в изменениях самой системы, так и в изменениях окружения. Тем самым исследование истории системы позволило бы вскрыть кардинальные диахронические трансформации окружения. Внутренняя реконструкция системы есть одновременно реконструкция по крайней мере части ее окружения.

1.2. Хорошей иллюстрацией к сказанному служит система терминов родства, в которой находят отражение принципы организации семейно-брачных систем, рассматриваемых в данном случае как часть окружения лингвистической системы (терминологии). Так, если в некоторой системе терминов родства одно и то же название применяется для категорий «тесть» и «брат матери», т. е. в системе терминов нейтрализовано различие между категориями «отец жены» и «брат матери», то эта структурная особенность системы терминов родства является знаком языкового отражения социального института кузината (брак его с его двоюродной сестрой).

В терминологиях родства находят также отражение и некоторые ключевые особенности миропонимания, свойственного тому или иному обществу. Так, одним из фундаментальных законов различных систем тотемизма является табу мертвецов. Система социальных запретов, связанных с этим табу, отражалась и в языке: в ряде тотемистических обществ принято переименовывать человека после его смерти. Этот обычай объясняет одну, на первый взгляд, странную особенность некоторых терминологий родства, имеющих два разных термина для одного и того же лица побочного родства: один термин употребляется в том случае, если данное лицо связано с говорящим через живущего коннектора, второй термин применяется, когда связующее лицо является покойным. Термины обычно намного переживают те внеязыковые явления, отражением которых они служили, так что по языковым данным можно восстановить предшествующие состояния социальных систем — окружения лингвистической системы.

В системах терминов родства индоевропейско-семитического типа встречаются коррелятивные термины двух видов: гетеронимические (образованные от разных корней), например, отец — мать, и морфонимические (образованные от одного корня), например, отец — отчим. Отличительной чертой указанной системы терминов родства является **наличие шести терминов для шести**

категорий: «отец», «мать», «брат отца», «сестра отца», «брат матери», «сестра матери». Лучшим образом такой терминологии считается латинская, где указанным категориям соответствуют следующие термины: *pater*, *mater*, *patruus*, *amita*, *avunculus*, *matertera*. Характер грамматических отношений между элементами этой системы позволяет говорить о противопоставленности двух групп терминов: с одной стороны, термины, связанные отношением гетеронимичности (*pater*, *mater*, *amita*, *avunculus*); с другой стороны, термины, связанные отношением производности, или морфонимичности (*pater* — *patruus*, *mater* — *matertera*). Нетрудно заметить, что морфонимические термины применяются к лицам изогнатных категорий («отец» — «брат отца», «мать» — «сестра матери»), тогда как неизогнатные категории («отец» — «сестра отца» и «мать» — «брат матери») обозначены гетеронимическими терминами.

Следовательно, в латинской системе терминов родства находят формальное выражение категориальные противопоставления «агнатность — неагнатность», или непрерывность — прерывность мужской линии (*pater/patruus* — *pater/amita*), и «когнатность — некогнатность», или непрерывность — прерывность женской линии (*mater/matertera* — *mater/avunculus*). Но эти противопоставления — типичная и определяющая черта так называемой турано-ганованской системы родства, исторически предшествующей индоевропейско-семитической. Поэтому мы имеем основания заключить, что описанная система из шести терминов восходит к классификативной системе из четырех терминов с нерасчлененными категориями «отец/брат отца» и «мать/сестра матери». Их прежняя нерасчлененность выражается в поздней системе морфонимическим характером соответствующих пар терминов. Таким образом, латинская система терминов родства, будучи безукоризненным образом синхронного состояния своего окружения, отражает одновременно и его прошлое состояние.

2.1. Идеальной целью познавательной деятельности является описание универсума в его потенциально бесконечном разнообразии. Прагматическая ценность предложенной интерпретации системы как образа окружения состоит в том, что исследование конкретного предстает как исследование всеобщего. Потенциально бесконечное разнообразие окружения описывается в терминах конечного разнообразия системы. Система преобразует конкретную *сущность*, данную в наблюдении, в конкретную *форму* — форму выражения общего в частном. Иными словами, система есть инструмент познания окружения.

2.2. Общее направление описания системы можно определить как переход от дифференциации к идентификации. На первом этапе систематизации наблюдаемых фактов (объектов) задача состоит в различении, отграничении каждого объекта от любого другого объекта, входящего в данную систему. Это предполагает оперирование с *дистинктивными* признаками объектов. На данной сту-

пени анализа мы лишь выдвигаем гипотезу о применимости к выделенной совокупности объектов атрибута «система». Этот этап связан с фиксацией актуальности данных объектов для системного анализа.

Дальнейшее исследование призвано верифицировать эту гипотезу и вывести следствия о ненаблюдаемом. Здесь нужно доказать однородность объектов относительно заданного набора признаков (показать, что различия объектов есть проявление их тождества) и установить, как в объектах данной системы воплощаются существенные свойства окружения, т. е. идентифицировать объекты системы как локус проявления более общих (пансистемных) характеристик. Это сопряжено с установлением опорных, ключевых точек системы, что предполагает оперирование с *редундантными* (интегральными) признаками входящих в систему объектов.

2.3. Пример. При описании слоговой структуры русского языка мы получаем систему различных типов слога, в которой ключевыми являются типы CVC, CV, VC (C — согласный, V — гласный). Все объекты системы четко разграничены по ряду дистинктивных признаков, таких, как «открытость — закрытость», «прикрытость-неприкрытость», степень консонантной насыщенности и т. д.

Непосредственным окружением слоговой системы являются морфологические и, далее, синтаксические типы структуры. Последующий анализ позволяет установить, что отмеченные ключевые типы слогов соответствуют ключевым типам морфологической структуры слова PrRPs, PrR, RPs (Pr — префикс, R — корень, Ps — постфикс) и ключевым синтаксическим типам предложения SVO, SV (S — субъект, V — глагол, O — объект):

слог	CVC	CV	VC
слово	PrRPs	PrR	RPs
предложение	SVO	SV	

2.4. Следует подчеркнуть, что в общем случае отношение между системой и окружением не является изоморфизмом. Можно говорить лишь о гомоморфизме окружения и системы; изоморфизм возможен только как частный случай гомоморфизма. Это объясняется потенциально бесконечным разнообразием окружения, и отсюда следует, что направление предсказуемости задается не окружением, а системой. В общем плане предсказуемость должна считаться необратимой: можно по данной системе предсказать некоторые существенные свойства окружения, но не наоборот. Бесконечное проявляется в конечном, обозримое предсказывает необозримое. Между прочим, это означает, что описание окружения должно строиться как множество описаний системы. Множественность описаний системы — свидетельство включенности ее в окружение.

3.1. Говорить о системе можно в том и только в том случае, если выполняются следующие «условия наличия»:

- (а) имеется набор наблюдаемых объектов
- (б) имеется набор признаков каждого объекта
- (в) имеется набор признаков набора объектов
- (г) имеется набор признаков наборов признаков объектов.

Каждое из этих условий является необходимым, но только совокупность всех четырех условий является достаточной.

3.2. Пункты (а) и (б) образуют условие *актуальности* описания системы, делая факты наблюдения претендентами на включение в систему. Пункты (в) и (г) образуют условие *целостности* системы, делая объекты системы претендентом на модель, которая существует, если можно показать гомоморфизм окружения и системы. Пункт (в) отражает наличие связей между объектами системы, пункт (г) — наличие связей между признаками системы.

3.3. В ином аспекте условия (а, б) можно соотносить с прагматикой системы как знака окружения, условия (в, г) — с синтактикой системы, условия (а, в, г) — с семантикой системы.

3.4. В связи с перечисленными условиями системности необходимо отметить, что понятие признака имеет более общее содержание, чем просто свойство объекта. Признак есть характеристика, обобщаемая для всей системы. Признак — это множество объектов с заданным на нем разбиением на n классов, и тогда говорят, что признак n -арен, n -значен. Принадлежность объекта a_i к одному из классов и есть его свойство по данному признаку. Следовательно, задать признак — значит задать принадлежность к соответствующему классу по крайней мере одного объекта. Возведение свойства в ранг признака означает, что мы постулируем параметры дифференциации внутри системы. Эта операция может быть названа *мерисматической актуализацией системы*. Актуализация признака для данной системы состоит в фиксации для всех объектов системы их свойств относительно данного признака, т. е. в разбиении их на классы, которые принадлежат к множеству, именем которого является данный признак.

3.5. Относительно задаваемого множества признаков нельзя заранее сказать, какие из них являются дистинктивными, а какие избыточными. Избыточность есть фундаментальное свойство системы, которое не может постулироваться, а должно диагностироваться. Поэтому на начальном этапе работы с системой приходится считать все признаки равнонеобходимыми. Первоначальной задачей описания системы является установление ее базисов, т. е. подмножеств фактически необходимых признаков. Именно это и является средством формализовать, сделать явным множественный характер описания системы. Каждый базис — это таблица идентификации, в которой столбцы соответствуют объектам, включенным в описание, а строки — признакам, необходимым и достаточным для отделения каждого объекта от всех остальных.

Критерием разграничения дистинктивных и избыточных признаков в данном описании (т. е. в описании с данным базисом) является их устранимость — неустранимость. Признак является *устранимым*, если стирание в таблице соответствующей строки не приводит к неразличению столбцов (объектов). В противном случае признак *неустраним*. Неустранимые признаки принадлежат к базису системы, но не всегда его исчерпывают. Признаки, не вошедшие ни в один из базисов, избыточны. Если признак принадлежит хотя бы одному из базисов, но представлен не во всех базисах, он относительно избыточен, т. е. избыточен в применении к тем базисам, в которых он не представлен.

Для примера рассмотрим некоторую абстрактную систему с пятью объектами А, Б, В, Г, Д и пятью признаками 1°, 2°, 3°, 4°, 5°, связанными следующим образом:

	А	Б	В	Г	Д
1°	+	+	—	—	—
2°	+	—	+	+	—
3°	—	—	+	—	+
4°	+	+	—	—	+
5°	—	—	+	+	—

Здесь «+» означает наличие свойства, предполагаемого соответствующим признаком, «—» означает отсутствие его.

Тест на устранимость позволяет установить, что стирание признака 1° или 4° не приводит к совпадению различаемых объектов, тогда как стирание признака 2° вызывает неразличение А и Б, а стирание признака 3° — неразличение В и Г. Следовательно, признаки 1° и 4° являются в данной системе устранимыми. Однако признаков 2° и 3° недостаточно для различения всех объектов. Нужно добавить либо 4°, и тогда базис будет $\langle 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ \rangle$, либо 1°, и тогда базис будет $\langle 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ \rangle$. Признак 5° всюду избыточен, он не входит ни в один из базисов. Признаки 1° и 4° относительно избыточны.

3.6. Избыточность признака не должна пониматься как несущественность его для описания, хотя именно такое представление о редундантных признаках является господствующим. Избыточный признак, действительно, не различает объекты данной системы. Однако он указывает на то, что при известном расширении системы он стал бы различительным. Иными словами, избыточный признак связывает объекты данной системы с объектами, которые в ней отсутствуют и которые, по предположению, принадлежат к окружению. Тем самым избыточный признак становится важным индикатором при обращении к экстрасистемным фактам — при описании окружения через систему. В этом смысле избыточные признаки наиболее существенны.

4.1. Обратимся к вопросам описания функциональной структуры системы, представляемой матрицей идентификации типа приведенной. Пусть F — множество функций, Δ — область определения для F , которую в дальнейшем будем называть полной областью определения функций. Каждый класс (объект) в матрице будет рассматриваться как предполагаемая функция от любого другого класса и от любого комплекса других классов. Это предположение вытекает из определения системы как связанного единства, гештальта. Функциональная связанность классов системы выражается в безразличии набора значений признаков для данного класса по отношению к аналогичному набору для другого класса. Результатом проверки данного предположения для каждого конкретного случая явится построение таблицы функций, как определенных, так и не имеющих места в системе.

Предполагается также, что в тех случаях, когда один и тот же класс является функцией от некоторого другого класса и функцией, скажем, от пары классов, имеют место две различные функции f'_i и f''_i (нижний индекс показывает, что данные классы-функции номинально совпадают, верхний индекс — что они функционально различаются), т. е. объект многозначен. Таким образом, если число классов равно n , множество F включает n подмножеств вида $\{f'_{ij}\}$, $i = 1, \dots, n$; здесь j есть порядок (т. е. число компонентов) комплекс-аргумента функции f_i , и $j = 1, \dots, m$ (где $m = n - 1$). В самом деле, поскольку мы предполагаем, что каждый из n классов является потенциальной функцией от любого комплекса других классов, максимально сложный комплекс-аргумент для данного класса будет составлен из всех классов за вычетом рассматриваемого.

Примером функционально связанной пары классов (объектов) в приведенной матрице могут служить классы Б и В: набор признаков значений класса В находится в обратном отношении с набором признаков значений класса Б.

	Б	В
1°	+	—
2°	—	+
3°	—	+
4°	+	—
5°	—	+

Точно так же класс В является функцией от бинарного аргумента (А, Б), так как отрицательное значение признаков в классе В возможно только при соответствующем значении ++ аргумента.

4.2. Полная область определения множества функций F некоторой системы S есть множество Δ всех аргументов, представ-

ляющее сумму всех сочетаний из n элементов по $j = 1, \dots, m$:

$$\Delta = \sum_{j=1}^m C_n^j.$$

Мощность Δ обозначим как P . Множество Δ естественно разбивается на m подмножеств $D_1, \dots, D_m \subseteq \Delta$ в соответствии с порядком комплекс-аргументов функций. Таким образом, Δ включает области определения одноместных, двухместных, ..., m -местных функций.

4.3. Функциональная структура всякой системы S считается заданной, если задано разбиение S на множество F объектов, рассматриваемых как функции, и множество Δ объектов, рассматриваемых как аргументы этих функций (включая сюда и комплексы объектов). Иными словами, функциональная структура некоторой системы S есть множество S , в котором любому элементу $y = f_i^j \in F$ соответствует по крайней мере один и только один элемент $x = \delta_i^j \in \Delta$ при $F \subseteq S$ и $\Delta \subseteq S$.

4.4. Для нашего примера $n = 5$, следовательно, $P = 30$. Вообще говоря, имея 30 различных аргументов и 5 функционально определяемых классов, можно ожидать, в рамках принятого предположения, nP функций, т. е. 150. В действительности, однако, их значительно меньше, причем не все являются существенными для конкретных целей описания. Это обусловлено тем, что описываемая структура есть структура системы, а не простой совокупности вещей. Наличие расчлененной связанной системы неизбежно предполагает наличие пустых клеток, обязанных своим появлением тем ограничениям, которые накладываются на теоретически мыслимое в данной системе количество разнообразия. Поэтому, приступая к функциональному описанию нашей системы, мы а priori ожидаем — в той мере, в какой мы имеем дело с системой — несоблюдение предполагаемой «сквозной» и «всеобщей» функциональной зависимости каждого класса от всех и каждого класса данной системы. Анализ материала показывает, что эти ожидания полностью оправдываются.

5.1. Содержательная тождественность, т. е. предсказуемость, в некоторой системе объектов, идентифицируемых с помощью набора дистинктивных признаков, может быть задана двумя способами: (1) «если x , то $\mathcal{X}$ », (2) «если x , то x ». В первом случае имеет место тождественность до противоположности, во втором — тождественность до совпадения. Таким образом, совпадение классов, имеющее место при идентичности значений, приписываемых каждому признаку, есть частный случай содержательной тождественности, который с точки зрения организации рассматриваемой совокупности объектов интерпретируется как отсутствие системы. Различные системы образуют иерархию по связанности и расчлененности.

5.2. *Связанность* (отдельность) системы обусловлена задаваемой на ней предсказуемостью классов; если в некоторой системе для любого класса может быть найден вполне тождественный ему до противоположности класс, то система является вполне связанной. Такая система описывается полной булевой матрицей.

Расчлененность системы обусловлена задаваемыми на ней структурными (функциональными) ограничениями, следствием которых является наличие пустых клеток в полной булевой матрице, описывающей данную систему. Расчлененность есть обратная сторона связанности. Таким образом, вполне связанная система не является расчлененной; расчлененная система не является вполне связанной. Всякая развитая система есть расчлененная система. Если в расчлененной системе имеется по крайней мере один такой класс, для которого можно указать вполне тождественный ему до противоположности, то данная система является связанной. Системы, с которыми имеет дело лингвистика, относятся именно к последнему типу: они определяются как связанные расчлененные, по отношению к которым вполне связанные системы без пустых клеток представляют собой идеальное примитивное состояние, генотип развитой системы.

5.3. Системы могут быть более связанными и менее связанными и, следовательно, менее расчлененными и более расчлененными. Вполне расчлененная система стремится к структурному типу, характеризующему абсолютной независимостью входящих в систему классов, функционально обусловленных лишь той системой, в которую входит данная система. Однако и такая система, по крайней мере, для естественных языков, является идеальной: абсолютная независимость классов означает понижение структурной избыточности в системе до нуля, а это в свою очередь резко снижает стабильность данной системы, так как только избыточное является стабильным (надежным).

По-видимому, это относится к любой естественной системе, существующей в условиях конфликта и соперничества с другими системами. Каждая система располагается между двумя полюсами, символизирующими два идеальных состояния: с одной стороны, вполне связанная (примитивная) система, с другой — вполне расчлененная система. Притяжение одного полюса нейтрализуется притяжением другого; устойчивая система характеризуется динамическим равновесием двух противоположных тенденций. Наличие в системе функционально тождественных классов отражает спонтанное движение системы в сторону максимальной расчлененности; наличие содержательно тождественных классов отражает превентивное воздействие противоположной тенденции, служащей выражением основного принципа существования всякой естественной системы — принципа сохранения.

5.4. Из сказанного следует, между прочим, еще один вывод: поскольку совпадение классов, ведущее к ликвидации системы, есть частный случай содержательной тождественности, необхо-

димой для существования связанной системы, постольку в последней потенциально скрыто ее полное отрицание. Иными словами, отсутствие системы есть частный случай наличия системы, а потому оно не случайно и потому-то оно также системно. Следствием данного объективного обстоятельства в субъективном плане является то, что во всяком системном описании потенциально скрыто несистемное описание.

6.1. Приведенное в 3.4 определение системы позволяет наметить основные *аспекты проявления* и, соответственно, *анализа* систем. Можно полагать, что указанные условия системности, комбинируясь друг с другом, образуют следующие свойства системы:

аб — актуальность	бв — конструктивность
ав — расчлененность	бг — организованность
аг — связанность (отдельность)	вг — целостность

6.2. Эти элементарные свойства системы далее комбинируются в трехсоставные комплексы, определяющие аспекты анализа системы:

абв — коннотативность (семантика ₁)	авг — единство
абг — денотативность (семантика ₂)	бвг — экспланаторность

Следует обратить внимание на расчлененность понятия семантики системы на два понятия: коннотативная семантика предполагает возможность перифразирования, т. е. определения объектов через комбинации других объектов, что частично было описано выше при определении функциональной структуры системы; денотативная семантика предполагает референтивность объектов системы, т. е. возможность определения их посредством приписывания имен. Индивидуальность системы скрыта как раз в ее коннотативной семантике, которая поэтому приобретает первостепенное значение при анализе системы как данности. Всеобщность системы скрыта в ее денотативной семантике.

6.3. Таким образом, основные аспекты проявления системы и основные аспекты анализа определяются четырьмя обобщенными свойствами: 1) коннотативность (абв), включающая конструктивность (бв), актуальность (аб) и расчлененность (ав); 2) денотативность (авг), включающая актуальность (аб), связанность (аг) и организованность (бг); 3) единство (авг), включающее расчлененность (ав), связанность (аг) и целостность (вг); 4) экспланаторность (бвг), включающая конструктивность (бв), организованность (бг) и целостность (вг).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ СИСТЕМНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

Г. Я. ПОРТНОВ, А. И. УЁМОВ

Выбор и обоснование системных параметров

В настоящее время необходимость создания общей теории систем является широко признанной, однако до сих пор не существует единого и ясного подхода к построению такой теории. Различные исследователи предлагают различные варианты общей теории систем ([5], [2]), которые, как правило, отличаются прежде всего спецификой выделяемых и исследуемых в них системных свойств и закономерностей. Проблема выбора таких свойств является одной из центральных в общей теории систем. Как отмечает А. Рапопорт, «возможности и научная ценность общей теории систем зависят от того, существуют ли в действительности свойства, присущие всем системам, и если да, то можно ли вывести важные результаты из этих свойств» [6, стр. 83]. Уточняя формулировку этой задачи, мы будем говорить не о свойствах, которые *присущи* всем системам, а о свойствах, *применимых* к описанию любых систем. Но поскольку все можно рассматривать как систему, понимаемую в смысле множества элементов, на котором реализуется отношение с определенными заранее свойствами [7], возникает вопрос, существуют ли свойства, которые применимы «ко всему»? Стремление к подобной универсальности вызывает у читателя, даже благожелательно расположенного к системным исследованиям, неприятное чувство. Вспоминается судьба всеобъемлющих построений прошлого. Они рухнули из-за чрезмерности своих претензий. Но в чем заключалась эта чрезмерность? Дело здесь не в широте области применимости самой по себе. Беда в том, что авторы универсальных концепций полагали универсальными не только предметные области их применимости, но и классы решаемых проблем. С точки зрения современной науки безнадёжность таких попыток очевидна. Однако пример математики показывает, что сказать нечто обо всем вполне возможно. И такое нечто не обязательно должно быть банальным.

Основной задачей общей теории систем является формулировка информационно-значимых положений с универсальной сферой

применимости. Свойства объектов, исследуемых в отдельных областях знания, как правило, непригодны для анализа систем. Например, обладает ли система длиной в 5 см? Нельзя установить истинность этого высказывания применительно к такой системе, как силлогизм, так как положительный и отрицательный ответы бессмысленны. Однако о любой системе имеет смысл спрашивать, например, состоит ли она из разнородных или однородных элементов, распадается ли она при удалении некоторых элементов, важен ли порядок в системе и т. д. Такие свойства, которые характерны для любых систем, мы называем *системными параметрами*.

Подробный анализ понятия системный параметр и его логической природы дан в работах [7], [8].

По своей природе системные параметры различны. Некоторые из них могут принимать лишь два значения, например, гомогенность и гетерогенность системы, одно из этих значений можно считать положительным, а другое — отрицательным. Такие параметры назовем *двузначными*. В отличие от них, многозначные параметры принимают три или более значений. Кроме того, могут быть бесконечнозначные параметры с непрерывной шкалой, например, простота или сложность системы. В дальнейшем будут рассматриваться главным образом двузначные параметры. Обоснование системных параметров и определение их числа приводится в работе В. И. Богдановича [1] с помощью введения операций дифференцирования системы в некоторой структуре M_1 . Вопрос о том, обладает ли некоторая система выделенным значением параметра, можно решить лишь производя некоторые действия (операции) над системой в целом, либо над ее элементами.

С теоретико-информационной точки зрения, системные параметры должны обладать высокой степенью информативности при описании систем. Не останавливаясь подробно на правилах выделения наиболее информативных параметров (по этому поводу см. [4]), отметим лишь одно из них — правило «потенциальной информативности признака».

Существуют параметры, позволяющие сделать максимальное число утверждений о других параметрах. Такие параметры мы и называем *потенциально информативными*. Потенциальную информативность признака следует понимать двояко: а) в плане однозначности соответствия систем их описаниям; б) в плане восстановления неизвестных признаков по известным.

Наиболее потенциально информативны признаки, связанные со всеми остальными признаками логическими функциями типа импликации. Правило потенциальной информативности заключается в том, что в качестве системных параметров в первую очередь следует выбирать признаки, обладающие высокой потенциальной информативностью.

Учитывая вышеизложенные требования к выбору системных параметров и ранее опубликованные нами исследования ([7], [8]),

мы в дальнейшем будем использовать следующие системные параметры *.

Систему назовем *авторегенеративной по элементам*, если она способна спонтанно восстанавливать свои элементы в процессе функционирования, и *авторегенеративной по отношениям*, если она способна спонтанно восстанавливать отношения между элементами.

Если система способна восстанавливать свои элементы или отношения под действием других систем, то такую систему назовем *внешнерегенеративной по элементам* или *по отношениям*.

Если множество элементов системы и множество коррелятов системообразующего отношения совпадают, то такие системы будем называть *имманентными*.

Свойство системы разрушаться при удалении хотя бы одного элемента назовем *минимальностью*.

Системы, способные сохраняться при изменениях их структуры, назовем *стабильными по структуре*.

Системы, состоящие из однородных элементов или из элементов, однородно функционирующих, назовем соответственно *субстратно гомогенными* и *функционально гомогенными*.

Если система обладает свойствами определения недостающих элементов по некоторой части элементов, то такие системы назовем *детерминирующими*.

Системы, обладающие таким элементом, что системообразующие отношения между парой элементов устанавливаются лишь с помощью отношения этих элементов к третьему, назовем *центрированными*.

Всецелонадежными системами назовем такие системы, которые сохраняют свой характер при сохранении хотя бы одного элемента.

Упорядоченными системами назовем такие системы, для которых существен порядок их элементов.

Если в системе каждому элементу присущи основные характеристики системы в целом, то такие системы назовем *элементарно-автономными*.

Систему будем называть системой с *функциональной зависимостью элементов*, если каждый ее элемент непосредственно участвует в системообразующем отношении.

Если вхождение в состав системы существенным образом изменяет вещи, ставшие ее элементами, то такие системы назовем *сильными*.

Под *цепной* системой будем понимать такую систему, системообразующее отношение в которой связывает каждый элемент не более чем с двумя другими элементами.

* В связи с тем, что в статье рассматриваются лишь двузначные параметры, будем их вводить путем указания на одно из их значений, а второе значение получается автоматически как характеристика дополнительного класса.

Если изменения свойств или элементов системы происходят в соответствии с некоторой периодичностью, то такие системы назовем *циклическими*.

Системы, системообразующие отношения у которых определяются не по всем свойствам элементов системы, назовем *частичными*.

Системы, устойчивые при изменении их субстрата, назовем *стационарными*.

Каждую из далее рассматриваемых систем будем описывать набором системных параметров X , имеющим следующий порядок: x_1 — авторегенеративность по элементам, x_2 — авторегенеративность по отношениям, x_3 — внешняя регенеративность по элементам, x_4 — внешняя регенеративность по отношениям, x_5 — имманентность, x_6 — минимальность, x_7 — стабильность по структуре, x_8 — субстратная гомогенность, x_9 — функциональная гомогенность, x_{10} — детерминированность, x_{11} — центрированность, x_{12} — всецелонадежность, x_{13} — упорядоченность, x_{14} — элементарноавтономность, x_{15} — функциональная зависимость элементов, x_{16} — сильная система, x_{17} — цепная система, x_{18} — цикличность, x_{19} — полнота системообразующего отношения, x_{20} — стационарность.

Распределение типов описания систем по различным наборам параметров

Для определения на основе статистических наблюдений корреляционных и логических связей между системными параметрами сформулируем следующую задачу.

Пусть имеется достаточно большое множество систем, выбранных произвольным образом, и фиксированный набор системных параметров $X = x_1, x_2, \dots, x_{20}$. Обозначим множество систем через M , а его элементы через s_i ($i = 1, 2, \dots, m$). По определению системного параметра для любого $s_i \in M$ имеет смысл одно из следующих утверждений:

- а) s_i обладает некоторым свойством x_j ;
- б) s_i не обладает некоторым свойством x_j .

Проверяя для s_i справедливость утверждений (а) или (б) по всему набору X , любому s_i ставим в соответствие 20-мерный двоичный вектор:

$$\bar{s}_i = \{\delta_{i1}, \delta_{i2}, \dots, \delta_{i20}\}, \quad (1)$$

где

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если для } s_i \text{ справедливо (а)} \\ 0, & \text{если для } s_i \text{ справедливо (б)} \end{cases} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, m; \\ j = 1, 2, \dots, 20. \end{matrix}$$

Совокупность значений компонент вектора $\bar{s}_i$ в двоично-восьмеричной записи назовем *типом описания системы данным набором признаков* или сокращенно *типом описания системы*.

Наша задача заключается в определении вероятности появления каждого из значений системных параметров на множестве систем M , в выявлении логических и корреляционных связей между параметрами, в установлении информативности параметров и распределений множества M по различным типам описания систем.

Сформулированная задача носит статистико-комбинаторный характер и может быть решена с помощью применения ЭВМ. Простейший алгоритм решения задачи должен обеспечить последовательный перебор всех возможных комбинаций, запоминание частот их появления, накопление и хранение результатов по каждой из комбинаций. Блок-схема подобного алгоритма и сам алгоритм описаны в работе [4].

В своем исследовании мы подвергали статистической обработке множество систем M (25 серий по 400 систем в каждой). При этом мы сознательно в качестве примеров систем выбирали системы самых различных классов, в том числе — искусственные технические системы средней сложности (станок, прибор, машина и т. д.), большой сложности (спутник, синхрофазотрон и т. д.), системы типа человек — машина (автоматизированные системы управления производством, информационно-поисковые системы), биологические системы, начиная от простейших и вплоть до самых сложных (клетка, живой орган, человек), социально-экономические системы (группа, производственный коллектив и т. д.), а также концептуальные, теоретические системы (алгоритм, метод решения задачи, числовая последовательность, блок-схема и т. д.). Каждая такая система рассматривалась в некотором фиксированном отношении, т. е. указывались ее элементы, свойства, ее системообразующее отношение, и строилось ее типичное описание применительно к выделенным системным параметрам $x_1 — x_{20}$. Например, ЭВМ «Минск-22» описывается следующим образом:

$x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 1, x_4 = 1, x_5 = 1, x_6 = 1, x_7 = 1, x_8 = 0,$
 $x_9 = 0, x_{10} = 1, x_{11} = 0, x_{12} = 0, x_{13} = 1, x_{14} = 1, x_{15} = 1, x_{16} =$
 $= 1, x_{17} = 0, x_{18} = 1, x_{19} = 0, x_{20} = 1$, а система социального страхования — $x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 1, x_4 = 1, x_5 = 1, x_6 = 0,$
 $x_7 = 0, x_8 = 1, x_9 = 0, x_{10} = 0, x_{11} = 0, x_{12} = 0, x_{13} = 1, x_{14} =$
 $= 0, x_{15} = 1, x_{16} = 0, x_{17} = 0, x_{18} = 0, x_{19} = 0, x_{20} = 1$.

В результате статистической обработки множества систем M легко установить неравнообъемность классов, образованных разными значениями системных параметров. В табл. 1 приведены частоты появления значений параметров в M , усредненные по всем проведенным сериям испытаний.

Как правило, система описывается не одним параметром, а некоторой их совокупностью. Поэтому представляет интерес выделение отдельных подмножеств набора X и установление распределения типов описания систем по различным совокупностям системных параметров.

Таблица 1

Системный параметр	Частота появления в М	Системный параметр	Частота появления в М	Системный параметр	Частота появления в М
x_1	0,127	x_8	0,235	x_{15}	0,754
x_2	0,263	x_9	0,247	x_{16}	0,544
x_3	0,704	x_{10}	0,678	x_{17}	0,160
x_4	0,876	x_{11}	0,169	x_{18}	0,324
x_5	0,824	x_{12}	0,102	x_{19}	0,416
x_6	0,473	x_{13}	0,767	x_{20}	0,830
x_7	0,763	x_{14}	0,781		

Сравнивая различные классы систем по одним и тем же подмножествам значений параметров из набора X , можно в качестве одной из характеристик систем данного класса рассматривать распределение типов описания систем по некоторой совокупности значений параметров.

Перейдем к рассмотрению связей между выделенными системными параметрами. Естественно, что связи между параметрами носят относительный характер и зависят от вида распределения

Таблица 2

№	Тип описания	Частота появления в М
1	161	87
2	003	63
3	163	63
4	160	60
5	061	45
6	063	45
7	041	42
8	043	36
9	143	33
10	007	30
11	167	30
12	142	24
13	140	21
14	060	21
15	023	18
16	103	18
17	145	18
18	147	18
19	162	18
20	171	18

Таблица 3

№	Тип описания
1	004
2	006
3	010—017
4	024—026
5	030—040
6	044—045
7	050—052
8	070—072
9	075—077
10	102
11	106—120
12	124
13	130—137
14	153
15	155
16	157
17	166
18	170
19	172
20	176

систем по типам описаний. Поэтому, прежде чем переходить к выявлению связей, целесообразно установить распределение систем по различным типам описаний. В [4] нами были построены распределения множества M по различным типам описаний. В качестве примера приведем распределение типов описания систем по совокупности из семи параметров. Выделим из набора X следующие семь параметров: элементарноавтономность, функциональная зависимость элементов, свойство системы быть сильной, цепной, циклической, частичность системообразующего отношения и стационарность; для множества M распределение систем по типам описаний имеет вид, приведенный в табл. 2. В табл. 3 указаны типы описания систем, имеющие нулевую частоту появления в множестве M . Наиболее распространен в рассматриваемом множестве тип описания систем, символически обозначенный в двоично-восьмеричной записи как 161.

Другими словами, для выделенных семи параметров наиболее распространены системы с типом описания $x_{14}, x_{15}, x_{16}, \bar{x}_{17}, \bar{x}_{18}, \bar{x}_{19}, x_{20}$. Выделяя, например, другие семь параметров ($x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}$), можно установить, что наиболее распространен в этом случае тип описания III, или $x_8 x_9 \bar{x}_{10} x_{11} \bar{x}_{12} \bar{x}_{13} x_{14}$, и т. д.

Установление распределений систем по различным типам описаний особо важно для сравнения различных классов систем и решения задач анализа систем по фиксированным свойствам (простота, надежность и т. д.).

Комбинации из двух системных параметров

Для анализа связей между отдельными параметрами набора X на рассматриваемом множестве систем выделим различные комбинации параметров по два и подсчитаем для них коэффициенты парной корреляции. Степень тесноты корреляционной связи будем оценивать коэффициентом коллигации Юла [9], т. е. коэффициентом Q , который определяется по формуле:

$$Q = \frac{\alpha_1 \alpha_4 - \alpha_2 \alpha_3}{\alpha_1 \alpha_4 + \alpha_2 \alpha_3},$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ — частоты появления совместных значений признаков в комбинации. Например, для комбинации x_i и x_j α_1 — частота появления $\bar{x}_i \bar{x}_j$, α_2 — $\bar{x}_i x_j$, α_3 — $x_i \bar{x}_j$, α_4 — $x_i x_j$. Естественно, что не все возможные пары параметров обладают корреляционной связью, поэтому для решения поставленной задачи будем рассматривать только пары, для которых $Q \geq 0,5$, т. е. комбинации с наиболее значимой корреляционной связью. Каждой комбинации поставим в соответствие совокупность ее возможных значений и частоты появления различных значений, т. е. структуру комбинации (табл. 4). Логические функции приближенно описывают зависимости в соответствующих комбинациях. Логические функции строятся следующим образом. Сравниваются

Таблица 4

№	Обозначение комбинации	Q	Структура комбинации				Логическая функция
			00	01	10	11	
1	x_1x_2	0,995	0,735	0,136	0,001	0,126	$x_1 \supset x_2$
2	x_1x_3	-0,559	0,159	0,712	0,056	0,071	x_1
3	x_1x_4	-0,494	0,09	0,781	0,032	0,095	$x_4 \supset x_1$
4	x_1x_6	-0,646	0,422	0,449	0,104	0,023	$x_1 \& x_6$
5	x_1x_7	0,543	0,224	0,647	0,011	0,116	$x_1 \supset x_7$
6	x_2x_3	-0,571	0,111	0,625	0,104	0,159	—
7	x_3x_4	0,967	0,110	0,105	0,113	0,77	$x_3 \supset x_4$
8	x_4x_5	0,502	0,043	0,08	0,132	0,744	x_4
9	x_1x_{12}	0,504	0,797	0,074	0,099	0,028	$\bar{x}_1 \& \bar{x}_{12}$
10	x_1x_{20}	0,501	0,160	0,711	0,008	0,119	$x_1 \supset x_{20}$
11	x_6x_{12}	-0,69	0,44	0,086	0,456	0,016	$\bar{x}_{12}$
12	x_6x_{13}	0,721	0,191	0,334	0,04	0,433	$x_6 \supset x_{13}$
13	x_6x_{14}	0,485	0,157	0,369	0,061	0,412	$x_6 \supset x_{14}$
14	x_6x_{15}	0,769	0,208	0,318	0,037	0,436	$x_6 \supset x_{15}$
15	x_7x_{20}	0,814	0,108	0,127	0,061	0,702	$x_7 \supset x_{20}$
16	x_8x_9	0,898	0,681	0,083	0,071	0,163	$x_8 \equiv x_9$
17	x_9x_{11}	-0,565	0,599	0,153	0,23	0,016	$x_9 \& x_{11}$
18	x_9x_{12}	0,528	0,699	0,053	0,197	0,049	$\bar{x}_{12}$
19	$x_{10}x_{13}$	0,519	0,122	0,199	0,11	0,568	—
20	$x_{10}x_{15}$	0,531	0,129	0,191	0,116	0,562	—
21	$x_{11}x_{12}$	-0,477	0,735	0,095	0,162	0,007	$x_{11} \& x_{12}$
22	$x_{11}x_{13}$	0,533	0,215	0,614	0,016	0,153	$x_{11} \supset x_{13}$
23	$x_{11}x_{15}$	0,562	0,229	0,601	0,016	0,153	$x_{11} \supset x_{15}$
24	$x_{11}x_{16}$	0,605	0,421	0,409	0,034	0,135	$x_{11} \supset x_{16}$
25	$x_{11}x_{20}$	0,624	0,16	0,669	0,008	0,16	$x_{11} \supset x_{20}$
26	$x_{13}x_{14}$	0,539	0,092	0,139	0,126	0,641	$x_{13} \vee x_{14}$
27	$x_{13}x_{15}$	0,651	0,114	0,117	0,13	0,636	—
28	$x_{13}x_{16}$	0,592	0,163	0,068	0,291	0,476	$x_{16} \supset x_{13}$
29	$x_{14}x_{15}$	0,657	0,110	0,108	0,135	0,645	—
30	$x_{15}x_{16}$	0,559	0,168	0,077	0,287	0,467	$x_{16} \supset x_{15}$
31	$x_{15}x_{20}$	0,477	0,130	0,452	0,038	0,377	$x_{19} \supset x_{20}$

между собой частоты α_i , малые значения частот заменяются нулем, а большие — единицей. Полученный таким образом набор значений принимается за таблицу заданную булеву функцию.

Анализ данных табл. 4 позволяет выявить наиболее и наименее вероятные значения комбинаций с тесной корреляционной зависимостью. Прежде всего можно установить, какие из параметров обладают наибольшим числом корреляционных связей с другими и, тем самым, наибольшей потенциальной информативностью

по отношению к последним. Так, например, авторегенеративность по элементам (x_1) имеет наибольшее число корреляционных связей с остальными параметрами (этот признак связан с семью другими параметрами) и является наиболее потенциально информативным системным параметром. Затем следует параметр x_{11} — центрированность, который связан корреляционными зависимостями с пятью остальными системными параметрами. Сравнительно высокой потенциальной информативностью обладают параметры x_6 — минимальность (4 связи) и x_{13} — упорядоченность (3 связи).

Сформулируем некоторые зависимости, имеющие место в приведенных выше комбинациях из двух признаков для множества систем M :

1. Системы, обладающие способностью авторегенеративности по элементам (x_1), авторегенеративны и по отношениям (x_2).

2. Системы, обладающие свойством авторегенеративности по элементам (x_1), как правило, обладают и свойством стационарности (x_{20}).

3. Системы, обладающие свойством авторегенеративности по элементам (x_1), обладают свойством стабильности по структуре (x_7).

4. Система, являющаяся внешнерегенеративной по элементам (x_1), является внешнерегенеративной по отношениям (x_4). Вероятность исключения примерно 0,013 *. (В дальнейшем обозначим вероятность появления комбинации через p , а вероятность исключения — через q).

5. Очень редко имеют место системы, обладающие одновременно свойствами минимальности (x_6) и упорядоченности (x_{13}). Такая комбинация признаков встречается с вероятностью $p \simeq 0,016$. Аналогичное утверждение справедливо относительно параметров функциональной гомогенности (x_9) и центрированности (x_{11}).

6. Не существует систем, являющихся всецелонадежными (x_{12}) и одновременно центрированными (x_{11}), ($p \simeq 0,007$).

7. Не существует центрированных систем (x_{11}), не обладающих одновременно свойством упорядоченности (x_{13}) или свойством функциональной зависимости элементов (x_{15}).

8. Не существует центрированных систем (x_{11}), не обладающих свойством стационарности (x_{20}), $p \simeq 0,008$.

Прежде чем сформулировать другие зависимости для комбинаций из двух признаков, отметим, что наиболее тесные корреляционные связи существуют между следующими параметрами: авторегенеративностью по элементам (x_1) и авторегенеративностью по отношениям (x_2), внешней регенеративностью по элементам (x_3) и внешней регенеративностью по отношениям (x_4), субстратной гомогенностью (x_8) и функциональной гомогенностью (x_9),

* Числовые оценки приведены для сравнительной оценки различных комбинаций.

стабильностью (x_7) и функциональной зависимостью элементов (x_{15}).

Большим значениям коэффициента Q соответствуют определенные логические функции, а именно для положительных значений Q имеют место импликация или эквивалентность (см. строки 1, 15, 16 табл. 4).

Анализируя зависимости в комбинациях из двух признаков, не обладающих высокими значениями Q , отметим следующее.

9. Крайне редко встречаются системы ($p \simeq 0,013$), которые обладали бы одновременно авторегенеративностью по элементам (x_1) и были бы цепными (x_{17}).

10. Системы, не обладающие свойством внешней регенеративности по элементам (x_3), как правило, не обладают и всецелонадежностью (x_{12}), $q \simeq 0,019$. Аналогичные утверждения справедливы для детерминированных (x_{10}) и всецело надежных систем (x_{12}), $q \simeq 0,014$, детерминированных (x_{10}) и центрированных систем (x_{11}), $q \simeq 0,01$.

11. Системы, не обладающие свойством стабильности (x_7), но обладающие свойством всецелонадежности (x_{12}), встречаются очень редко, $p \simeq 0,016$; также сравнительно ($p \simeq 0,011$) редко встречаются системы, обладающие всецелонадежностью, но не стационарные (x_{20}).

12. Если система минимальная (x_6), то она не является всецелонадежной (x_{12}), и, наоборот, всякая всецелонадежная система неминимальна, $q \simeq 0,016$.

13. Как правило, система обладает либо свойством авторегенеративности по отношениям (x_2), либо внешней регенеративностью по отношениям (x_4), $q \simeq 0,07$.

14. Всякая авторегенеративная по отношениям система, как правило, стабильна (x_7), $q \simeq 0,032$.

15. Система, обладающая свойством авторегенеративности по отношениям, обладает свойством элементарноавтономности (x_{14}), свойством стационарности (x_{20}) и функциональной зависимости элементов (x_{15}) (q соответственно равно 0,07, 0,022 и 0,069).

16. Система, не обладающая свойством внешней регенеративности элементов (x_1), не обладает субстратной или функциональной гомогенностью (x_8), (x_9) (q соответственно — 0,059 и 0,065).

17. Всякая неимманентная система (x_5), как правило, не является субстратной гомогенной ($q \simeq 0,038$) или функционально гомогенной ($q \simeq 0,044$). Аналогичное утверждение справедливо для неимманентности и всецелонадежности (x_{12}), $q \simeq 0,026$, неимманентности и центрированности (x_{11}), ($q \simeq 0,029$), неимманентности и свойства системы быть цепной (x_{17}) или цикличной (x_{18}).

18. Не существует систем нестабильных (x_7) и всецелонадежных (x_{12}), $q \simeq 0,016$.

19. Центрированные системы (x_{11}) не могут быть одновременно и цепными (x_{17}), $q \simeq 0,022$.

Таблица 5

№	Обозначение комбинации	Q	Структура комбинации				Логическая функция
			00	01	10	11	
1	x_1x_8	0,064	0,669	0,202	0,095	0,032	$\bar{x}_8$
2	x_2x_8	0,050	0,566	0,169	0,197	0,065	$x_2 \& x_8$
3	x_2x_{15}	-0,071	0,175	0,561	0,069	0,193	$x_2 \supset x_5$
4	x_4x_8	-0,055	0,092	0,031	0,672	0,203	x_4
5	x_4x_9	-0,089	0,089	0,034	0,663	0,212	x_4
6	x_4x_{18}	0,029	0,084	0,038	0,59	0,285	x_4
7	x_5x_7	0,085	0,046	0,129	0,190	0,633	$x_5 \vee x_7$
8	x_5x_8	0,050	0,136	0,038	0,627	0,196	$x_8 \supset x_5$
9	x_5x_9	-0,023	0,130	0,044	0,622	0,202	$x_9 \supset x_5$
10	x_5x_{11}	0,000	0,145	0,029	0,684	0,139	$x_{11} \supset x_5$
11	x_5x_{16}	-0,015	0,078	0,096	0,376	0,447	x_5
12	x_5x_{19}	0,003	0,102	0,072	0,480	0,343	$x_{19} \supset x_5$
13	x_6x_{11}	0,085	0,443	0,033	0,386	0,086	$\bar{x}_{11}$
14	x_6x_{18}	0,052	0,361	0,165	0,313	0,159	—
15	x_7x_9	-0,059	0,174	0,062	0,578	0,184	$x_9 \supset x_7$
16	x_7x_{14}	0,029	0,053	0,183	0,165	0,598	$x_7 \vee x_{14}$
17	x_7x_{15}	-0,091	0,052	0,184	0,193	0,569	$x_7 \vee x_{15}$
18	x_7x_{16}	0,076	0,114	0,122	0,340	0,422	—
19	x_7x_{18}	0,029	0,162	0,074	0,513	0,250	$x_{18} \supset x_7$
20	x_8x_{10}	0,092	0,252	0,511	0,068	0,166	$x_8 \supset x_{10}$
21	x_8x_{15}	-0,070	0,183	0,581	0,062	0,172	$x_8 \supset x_{15}$
22	x_8x_{19}	0,053	0,450	0,313	0,135	0,102	—
23	x_9x_{10}	0,006	0,242	0,510	0,078	0,168	$x_9 \supset x_{10}$
24	$x_{10}x_{12}$	0,006	0,288	0,032	0,608	0,069	$\bar{x}_{12}$
25	$x_{10}x_{19}$	-0,097	0,177	0,144	0,406	0,272	—
26	$x_{12}x_{16}$	0,046	0,410	0,486	0,044	0,058	$\bar{x}_{12}$
27	$x_{12}x_{17}$	0,052	0,754	0,142	0,084	0,017	$\bar{x}_{12}$
28	$x_{12}x_{18}$	0,022	0,607	0,290	0,068	0,034	$\bar{x}_{12}$
29	$x_{14}x_{18}$	-0,006	0,147	0,071	0,528	0,252	$x_{18} \supset x_{14}$
30	$x_{15}x_{18}$	-0,008	0,165	0,080	0,510	0,244	$x_{18} \supset x_{15}$
31	$x_{16}x_{18}$	-0,050	0,302	0,153	0,373	0,171	—
32	$x_{17}x_{20}$	0,052	0,144	0,694	0,025	0,135	$x_{17} \supset x_{20}$
33	$x_{18}x_{19}$	0,044	0,398	0,276	0,184	0,139	—

20. Не существует цепных систем, у которых не все элементы функционально зависимы (x_{15}), $q \simeq 0,022$.

21. Всякая цепная система (x_{17}), как правило, не может обладать свойством стационарности (x_{20}), $q \simeq 0,025$. Аналогично редко встречается комбинация цикличности (x_{18}) и нестационарности ($\bar{x}_{20}$), $p \simeq 0,047$, свойства частичности системообразующего отношения (x_{19}) совместно с нестационарностью ($\bar{x}_{20}$), $p \simeq 0,038$.

Часть комбинаций из двух признаков не имеет корреляционных зависимостей, связь между такими параметрами носит случайный характер и не находится в доверительных интервалах. Примеры таких комбинаций приведены в табл. 5. В этой таблице приведены и логические функции, однако они носят неустойчивый характер и изменяются от серии к серии испытаний. Для многих комбинаций из табл. 5 логической функции либо нельзя установить в силу большого разброса частот появления различных значений для одной и той же комбинации, либо это функции от одной переменной.

Комбинации из трех системных параметров

Анализ комбинаций из трех системных параметров (табл. 6) также позволяет выявить ряд логических и корреляционных зависимостей между ними. Прежде всего перечислим некоторые наиболее вероятные закономерности, повторяющиеся для различных серий множества M .

Т а б л и ц а 6

№	Наименование комбинации	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Наиболее распространенное значение комбинации	Наименее распространенное значение комбинации
1	$x_5x_{13}x_{20}$	0,123	0,653	-0,107	0,500	0,296	0,632	111	010√000√100
2	$x_5x_{15}x_{20}$	0,209	0,641	0,071	0,550	0,1101	0,517	111	010
3	$x_6x_{13}x_{15}$	0,566	0,859	-0,035	0,547	0,594	0,840	—	—
4	$x_6x_{15}x_{20}$	0,777	0,877	0,336	0,588	0,331	0,753	111	100√101√010
5	$x_8x_9x_{11}$	0,835	0,911	-0,716	-0,516	0,203	0,503	000	011√111
6	$x_{10}x_{11}x_{13}$	0,296	0,853	0,293	0,852	0,964	-0,729	101	010
7	$x_{10}x_{11}x_{16}$	0,319	0,694	0,386	0,731	0,968	0,769	101	010
8	$x_{10}x_{13}x_{17}$	-0,047	0,566	0,008	0,603	-0,927	0,674	110	001
9	$x_{10}x_{15}x_{17}$	0,050	0,565	0,161	0,636	-0,923	0,642	110	001
10	$x_{11}x_{13}x_{14}$	0,450	0,681	0,278	0,559	0,079	0,714	011	100
11	$x_{10}x_{11}x_{13}$	0,296	0,853	0,293	0,852	0,964	-0,729	101	010
12	$x_{10}x_{11}x_{15}$	0,319	0,694	0,386	0,731	0,968	-0,769	101	010
13	$x_{10}x_{13}x_{17}$	-0,047	0,566	0,008	0,603	0,927	0,674	110	001
14	$x_{10}x_{15}x_{17}$	0,050	0,565	0,161	0,636	-0,923	0,642	110	001

22. Не существует систем, обладающих свойством авторегенеративности по элементам (x_1) и не обладающих одновременно свойствами авторегенеративности по отношениям (x_2) и внешней регенеративности по элементам (x_3), либо не обладающих авторегенеративностью по отношениям и внешней регенеративностью по отношениям (x_4).

23. Не существует систем, авторегенеративных по элементам (x_1), не обладающих авторегенеративностью отношений (x_2) и стабильных (x_7).

24. Системы, неавторегенеративные по элементам (x_1) и отношениям (x_2), в большинстве случаев являются невсецелонадежными, $p \simeq 0,67$.

25. Не существует систем, обладающих авторегенеративностью по элементам, неимманентных (x_5) и нестабильных (x_7) одновременно.

26. Системы, одновременно авторегенеративные по элементам, минимальные (x_8) и субстратно гомогенные (x_8), встречаются крайне редко, $p \simeq 0,001$; то же самое справедливо для признака функциональной гомогенности (x_9), вероятность появления которого вместе с минимальностью и авторегенеративностью равна 0,002.

27. Системы, авторегенеративные по элементам, нестабильные и функционально гомогенные, встречаются редко, $p \simeq 0,002$; то же самое справедливо, если вместо функциональной гомогенности взять признаки детерминированности (x_{10}) или центрированности (x_{11}) (p соответственно равно 0,008; 0,004).

Здесь следует отметить одно важное обстоятельство. Если некоторая комбинация двух признаков, рассматриваемых ранее, не связана корреляционной зависимостью, то и соответствующая ей комбинация из трех признаков, как правило, не обладает корреляционными связями.

28. Не существует систем, обладающих авторегенеративностью по элементам (x_1), функционально негомогенных ($\bar{x}_9$) и нестационарных ($\bar{x}_{20}$), авторегенеративных, центрированных (x_{11}) и всецелонадежных одновременно (x_{12}) ($q \simeq 0,001$), авторегенеративных, центрированных и слабых ($\bar{x}_{16}$), авторегенеративных, центрированных и нестационарных ($\bar{x}_{20}$). Перечисление таких закономерностей, естественно, можно продолжить.

Чтобы выявить корреляционные зависимости для комбинаций из трех признаков, нами определялись Юловы коэффициенты частной коллигации $Q_1, Q_2, \dots, Q_6$, описывающие степень связи двух признаков с положительным или отрицательным значением третьего. По определению этих коэффициентов [9], наиболее тесные корреляционные связи для трех признаков выражаются высокими значениями (не менее 0,5) Q_i только с четными, либо нечетными индексами. Комбинации из двух признаков не связаны с появлением третьего, если примерно все Q_i одинаковы. Примеры комбинаций из трех признаков, в которых корреляционные зависимости значительны, приведены в табл. 6. Как видно из этой таблицы, в комбинации $x_5x_{13}x_{20}$ появление пары x_5x_{13} связано с появлением $\bar{x}_{20}$, а $x_{13}x_{20}$ — связано с $\bar{x}_5$; аналогично x_5x_{20} связано с $\bar{x}_{13}$, т. е. с определенной степенью вероятности справедливо следующее: $x_5x_{13} \bigvee x_{20}$, $x_5x_{20} \bigvee x_{13}$, $x_{13}x_{20} \bigvee x_5$, $x_{13} \bigvee x_5x_{20}$ (иначе говоря, существует корреляция между имманентностью, упорядоченностью и нестационарностью). Аналогичные утверждения

справедливы для комбинаций $x_5x_{15}x_{20}$ (имманентность, функциональная зависимость и стационарность), $x_{11}x_{13}x_{14}$ (центрированность, упорядоченность и элементарноавтономность). Для комбинаций $x_6x_{15}x_{20}$, по-видимому, можно считать, что x_6x_{15} не зависят от x_{20} , т. е. минимальность совместно с функциональной зависимостью не зависит от стационарности. Это же утверждение в дальнейшем можно проверить на комбинациях с большим числом признаков. Очень сильная корреляционная зависимость имеет место между параметрами в комбинациях $x_{10}x_{13}x_{17}$ и $x_{10}x_{15}x_{17}$.

Комбинации из четырех системных параметров

Анализируя комбинации из четырех признаков, можно также сформулировать некоторые зависимости. Корреляционные связи в этом случае нами не определяются в силу трудоемкости их расчетов. Достоверность выявленных связей проверяется на основе ранее установленных связей для комбинаций из двух и трех признаков. В дальнейшем будем рассматривать не структуру всей комбинации, а лишь ее отдельные значения, частоты которых либо равны нулю, либо наибольшие для данной комбинации.

Среди закономерностей, имеющих место для комбинаций из четырех признаков в множестве M , укажем следующие.

29. Не существует систем, обладающих одновременно свойствами авторегенеративности по элементам (x_1), неавторегенеративности по отношениям ($\bar{x}_2$) и внешне нерегенеративных по элементам ($\bar{x}_3$) или по отношениям ($\bar{x}_4$), либо по элементам и отношениям одновременно. Крайне редко ($p \simeq 0,001$) встречаются системы, авторегенеративные по элементам, неавторегенеративные по отношениям и внешне регенеративные и по элементам и по отношениям.

30. Не существует систем, авторегенеративных по элементам, неавторегенеративных по отношениям, нестабильных ($\bar{x}_7$) и нестационарных ($\bar{x}_{20}$), либо стабильных (x_7) и нестационарных, либо стабильных и стационарных одновременно.

31. Не существует систем авторегенеративных по элементам, внешне регенеративных по отношениям, неминимальных ($\bar{x}_6$) и нестационарных, либо авторегенеративных и внешне нерегенеративных по отношениям и одновременно неминимальных и нестационарных ($q \simeq 0,001$).

Аналогичным образом можно установить и остальные закономерности для комбинаций из четырех и более признаков.

Определение производных связей по основным логическим функциям

В предшествующих разделах статьи мы установили некоторые корреляционные зависимости между системными параметрами и построили логические функции, описывающие эти связи. Несмотря

ря на вероятностный характер истинности полученных логических функций, последние имеют значение для определения производных связей и логических функций, описывающих зависимости с большим числом признаков. Естественно, что истинность производных логических функций в этом случае также носит вероятностный характер.

Рассмотрим некоторые связи, зафиксированные в табл. 4. Для описывающих их логических функций проведем формальные построения, имеющие место в булевой алгебре. Учитывая, что для x_1 выполнимы функции: $x_1 \supset x_2$, $x_1 \supset x_7$ и $x_1 \supset x_{20}$, и используя закон умножения консеквентов [3], можно вывести следующее:

$$\begin{aligned}(x_1 \supset x_2) \& (x_1 \supset x_7) &\supset (x_1 \supset x_2 \& x_7) \\(x_1 \supset x_7) \& (x_1 \supset x_{20}) &\supset (x_1 \supset x_7 \& x_{20}) \\(x_1 \supset x_2) \& (x_1 \supset x_{20}) &\supset (x_1 \supset x_2 \& x_{20}),\end{aligned}\tag{1}$$

т. е. из того, что система обладает свойством авторегенеративности по элементам с высокой степенью вероятности, можно предполагать наличие у системы одновременно свойств авторегенеративности по отношениям, стабильности и стационарности. Зависимости подобного типа можно установить и для параметров минимальности, упорядоченности, элементарноавтономности и функциональной зависимости элементов, т. е.

$$(x_6 \supset x_{13}) \& (x_6 \supset x_{14}) \& (x_6 \supset x_{15}) \supset (x_6 \supset x_{13} \& x_{14} \& x_{15}).\tag{2}$$

Используя тот же закон умножения консеквентов, приходим к выводу, что:

$$\begin{aligned}(x_{11} \supset x_{13}) \& (x_{11} \supset x_{15}) &\supset (x_{11} \supset x_{13} \& x_{15}) \\(x_{11} \supset x_{16}) \& (x_{11} \supset x_{20}) &\supset (x_{11} \supset x_{16} \& x_{20}) \\(x_{11} \supset x_{13}) \& (x_{11} \supset x_{15}) \& (x_{11} \supset x_{16}) \& \\&\& (x_{11} \supset x_{20}) \supset (x_{11} \supset x_{13} \& x_{15} \& x_{16} \& x_{20}),\end{aligned}\tag{3}$$

т. е. из свойства системы быть центрированной следует, что система обладает одновременно свойствами упорядоченности, функциональной зависимости элементов, является сильной и стационарной. Наконец, используя тот же закон, можно вывести не совсем очевидную зависимость. Так как в табл. 4 имеют место импликации $x_{16} \supset x_{13}$ и $x_{16} \supset x_{15}$, то справедливо

$$(x_{16} \supset x_{13}) \& (x_{16} \supset x_{15}) \supset (x_{16} \supset x_{13} \& x_{15}).\tag{4}$$

Используя закон сложения антецендентов импликаций, получаем следующие логические связи:

$$\begin{array}{ll} x_{11} \vee x_{16} \supset x_{13} & x_6 \vee x_{11} \supset x_{13} \\ x_1 \vee x_{11} \supset x_{20} & x_6 \vee x_{13} \supset x_{15} \\ x_6 \vee x_{16} \supset x_{15} & x_7 \vee x_{11} \supset x_{20} \\ x_{11} \vee x_{19} \supset x_{20} & x_7 \vee x_{11} \vee x_{19} \supset x_{20}. \end{array} \quad (5)$$

Используя закон почленного сложения импликаций, получаем следующие связи:

$$\begin{array}{ll} x_1 \vee x_{11} \supset x_2 \vee x_{13} & x_{11} \vee x_{16} \supset x_{13} \vee x_{15} \\ x_6 \vee x_7 \supset x_{14} \vee x_{20} & x_{16} \vee x_{19} \supset x_{15} \vee x_{20}. \end{array} \quad (6)$$

Часть логических связей типа импликации, имеющих место в табл. 4, можно вывести, используя транзитивность импликации. Например:

$$\begin{array}{l} (x_{11} \supset x_{16}) \& (x_{16} \supset x_{15}) \supset (x_{11} \supset x_{15}) \\ (x_1 \supset x_7) \& (x_7 \supset x_{20}) \supset (x_1 \supset x_{20}) \\ (x_8 \equiv x_9) \& (\bar{x}_9 \vee \bar{x}_{11}) \supset (\bar{x}_8 \vee x_{11}). \end{array} \quad (7)$$

Закон почленного умножения импликаций позволяет также сформулировать зависимости, аналогичные связям (6), лишь вместо дизъюнкции в них имеет место конъюнкция.

Учитывая другие связи в табл. 4, например, что $x_3 \supset x_4$ и $x_4 \& \bar{x}_1$, можно предположить, что справедливо

$$(x_3 \supset x_4) \& (x_4 \& \bar{x}_1) \supset (x_3 \supset \bar{x}_1). \quad (8)$$

Иначе говоря, из того, что система обладает свойством внешней регенеративности, с высокой степенью вероятности следует ее неавторегенеративность по элементам.

Используя некоторые зависимости из табл. 5, можно вывести еще ряд логических связей. В частности, из связей, приведенных в табл. 4 и 5, следуют такие логические функции:

$$\begin{array}{l} (x_9 \supset x_1) \& (x_8 \equiv x_9) \supset (x_8 \supset x_7) \\ (x_8 \equiv x_9) \& (x_8 \supset x_{15}) \supset (x_9 \supset x_{15}) \\ (x_{18} \supset x_7) \& (x_7 \supset x_{20}) \supset (x_{18} \supset x_{20}) \\ (x_1 \supset x_{20}) \& (x_{20} \supset x_5) \supset (x_1 \supset x_5). \end{array} \quad (9)$$

Таким образом, из свойства функциональной гомогенности следует функциональная зависимость элементов системы, а из свойства цикличности следует стационарность системы. Из того, что система обладает свойством авторегенеративности по элементам, следует, что она обладает свойством имманентности.

Анализ комбинаций с большим числом системных параметров и распределений систем по различным типам описания позволяет также установить ряд логических связей типа несовместимости, следования, конъюнкции.

Нами установлено, что с высокой степенью вероятности для комбинации параметров $x_1x_2x_3x_4x_5x_6$ недопустимы значения $\bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4\bar{x}_5\bar{x}_6$, $\bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4\bar{x}_5x_6$, $\bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4x_5x_6$, $x_1x_2x_3x_4x_5x_6$ и другие. Можно считать, что приведенные выше комбинации из шести признаков во многих случаях определяются комбинациями из меньшего числа признаков.

Начиная с некоторого числа несовместимых признаков, присоединение к комбинации новых признаков не увеличивает частоту появления всей комбинации. Такую минимальную совокупность признаков, начиная с которой частота появления всей комбинации не изменяется после присоединения к ней новых признаков, назовем *основой комбинации по частоте α* . Основу комбинации по нулевой частоте можно получить, например, выделяя общие значения наборов некоторой комбинации с нулевой частотой появления, т. е. в этом случае наборы выступают как конститuentы нуля, а основа комбинации — как импликанты, входящие в некоторую минимальную дизъюнктивную нормальную форму. Для приведенной выше комбинации основой комбинации по нулевой частоте являются комбинации $\bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4$ и $\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4$. Если учесть наиболее и наименее вероятные значения этой комбинации, то в качестве основ рассматриваемой комбинации можно получить совокупности $x_1\bar{x}_2\bar{x}_3$, $x_1\bar{x}_2\bar{x}_4$, $x_1\bar{x}_2\bar{x}_5$, $x_3\bar{x}_4\bar{x}_6$, $x_3\bar{x}_4$. Выделяя основы в каждой комбинации, можно предсказать некоторые более сложные зависимости. Например, с высокой степенью вероятности можно утверждать, что $\bar{x}_1\bar{x}_2 \underline{\vee} x_4x_5$, $x_1 \underline{\vee} x_2x_5$, $x_1x_3 \underline{\vee} \bar{x}_4\bar{x}_5$, $\bar{x}_2x_3 \underline{\vee} \bar{x}_4\bar{x}_5x_6$, $\bar{x}_1\bar{x}_2x_4 \underline{\vee} x_3\bar{x}_6$, $\bar{x}_1\bar{x}_2x_3 \underline{\vee} \bar{x}_5x_6$.

Анализируя комбинации из пяти признаков, можно установить, что практически не встречаются значения $\bar{x}_{14}\bar{x}_{15}\bar{x}_{16}x_{17}x_{18}$, $\bar{x}_{14}\bar{x}_{15}x_{16}x_{17}\bar{x}_{18}$. Основами этих комбинаций по нулевой частоте являются следующие значения: $\bar{x}_{14}\bar{x}_{15}x_{16}$, $x_{14}\bar{x}_{15}x_{17}$, $\bar{x}_{15}\bar{x}_{16}x_{17}$, $\bar{x}_{15}x_{16}x_{17}$, $\bar{x}_{15}x_{17}x_{18}$, $\bar{x}_{15}x_{17}\bar{x}_{18}$, $x_{14}\bar{x}_{15}x_{17}$, $\bar{x}_{15}x_{17}$.

Таким образом, основой нулевой частоты рассматриваемых комбинаций является несовместимость функциональной независимости элементов и свойства системы быть цепной.

Дальнейший анализ комбинаций параметров по два из табл. 4 позволяет наметить пути минимизации описания, выделить зависимые и независимые подмножества параметров описания. Так, используя наиболее сильные логические связи — импликацию и эквивалентность, можно выделить основные и производные параметры. Например, из свойства авторегенеративности по элементам следует авторегенеративность по отношениям, стабильность и стационарность, а из свойства минимальности следуют упорядоченность, элементарноавтономность и функциональная зависимость элементов системы. Продолжая аналогичные рассуждения,

можно получить подмножества основных параметров и производных. Подмножество основных параметров, т. е. параметров, имплицитующих остальные — $X_1 = \{x_1, x_3, x_6, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{19}\}$, подмножество независимых параметров $X_2 = \{x_5, x_{17}, x_{18}\}$ и подмножество производных параметров $X_3 = \{x_2, x_4, x_7, x_9, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{20}\}$.

В связи с различием основных и производных параметров, естественно, возникает проблема вывода одних параметров из других. Эта сама по себе задача сложная, так как не всегда можно указать способы выведения из одной комбинации параметров другой комбинации параметров, фактически связанной с первой. Тем не менее разумно предполагать, что параметры, связанные фактически, могут быть связаны и логически.

Наиболее существенными параметрами для описания систем, на наш взгляд, являются те, которые попадают либо в множество X_1 , либо в множество X_2 . Для рассматриваемого множества M это признаки x_1, x_6, x_{11} . Далее по степени существенности следуют параметры x_8 и x_{10} , а затем x_3 и x_{19} .

Параметры, входящие в множество X_3 , менее существенны, чем вышеперечисленные параметры из X_1 , и они могут быть удалены из списка параметров как производные. В частности, x_2 логически следует из x_1 , аналогично — x_4 из x_3 . Параметры из множества X_2 , несмотря на их низкую информативность, не следует удалять из списка параметров, а следует подвергнуть дальнейшему анализу на другом множестве систем.

Критерии надежности общесистемных закономерностей

Не все полученные выше зависимости вызывают к себе одинаковое доверие. Многие из них имеют совершенно случайный характер. Естественно возникает проблема критериев, позволяющих определить, в какой мере можно доверять полученным зависимостям как закономерностям. Эту проблему можно рассматривать в двух планах. Один из них — экстенциональный — решается математической статистикой. Здесь важны: число непосредственно исследованных объектов и характер отбора «выборки» из этих объектов. Интенциональный подход связан с анализом соотносящихся свойств, в нашем случае — системных параметров. Совпадение классов объектов, обладающих соответствующими значениями параметров, не означает тождественность параметров по всем своим свойствам, а лишь тождественность их некоторых экстенциональных свойств.

Можно установить связь между вероятностью интенциональной тождественности свойств и объемом отождествляемых классов объектов. Например, утверждение об отсутствии значения x_1, x_2, x_3 для комбинации из x_1, x_2 и x_3 в некоторой степени свидетельствует об определенном отношении между параметрами. Если

мало систем характеризуется значениями параметров x_1 , $\bar{x}_2$ и x_3 по отдельности, то отсутствие значения $x_1 \bar{x}_2 x_3$ может иметь случайный характер и не свидетельствовать об объективной связи между этими параметрами. Если же почти все системы обладают указанными значениями параметров по отдельности, то в этом случае обесцениваются сведения о противоположном значении этой комбинации.

Возможны два пути решения поставленной проблемы. Первый путь состоит в том, что мы определяем некоторый коэффициент «надежности» найденной закономерности. Такой коэффициент должен зависеть от вероятности обнаружения тех или иных значений рассматриваемых системных параметров у произвольно взятой системы. Вместе с тем он должен зависеть и от логической структуры полученной закономерности. Очевидно, надежность импликации $x_1 \supset x_2$ будет выше, чем надежность эквивалентности $x_1 \equiv x_2$, надежность дизъюнкции $x_1 \vee x_2$ выше надежности конъюнкции $x_1 \& x_2$ и т. д.

Второй путь связан с отбором самих системных параметров независимо от той или иной конкретной закономерности, связывающей эти параметры.

Рассмотрим первый путь. Метод получения общесистемных закономерностей основан на подсчете числа случаев наличия или отсутствия наборов значений системных параметров у выделенных систем. Обозначим коэффициент надежности утверждения, запрещающего ту или иную комбинацию значений системных параметров $x_1, x_2, \dots, x_n$, символом $R(-)$, а коэффициент надежности утверждения, универсализирующего такую комбинацию, символом $R(+)$. Для упрощения в дальнейшем переименуем переменные. Вместо $x_1, x_2, \dots, x_n$ будем использовать $y_1, y_2, \dots, y_n$, где y_i — совпадает с x_i , если в данную комбинацию x_i входит в положительном значении, и y_i равен $\bar{x}_i$, если x_i входит в комбинацию в своем отрицательном значении. Пусть $p(y_1), \dots, p(y_n)$ вероятности того, что произвольно взятые системы обладают значениями переменных $y_1, \dots, y_n$. Тогда $R(-)$ есть функция от $p(y_1), \dots, p(y_n)$, а $R(+)$ от $[1 - p(y_1)], \dots, [1 - p(y_n)]$. Вид этой функции можно определить, фиксируя некоторые ее значения на основании некоторых гипотетических предположений. Естественно допустить, что чем больше систем характеризуется $y_1 \dots y_n$, тем надежнее закономерность, выражающая отсутствие комбинаций этих значений. Максимум $R(-)$ будет достигаться при максимальных значениях $p(y_1), \dots, p(y_n)$. Минимальное значение $R(-)$ достигается при минимальных значениях $p(y_1), \dots, p(y_n)$.

В простейшем случае $R(-) = p(y_1), \dots, p(y_n)$. Для $R(+)$ mutatis mutandis получаем соотношение $R(+)= [1 - p(y_1)], \dots, [1 - p(y_n)]$. Мы рассмотрели вопрос о надежности применительно к двум типам общесистемных закономерностей. Но последние, как показано выше, можно выразить в виде различных логических функций. Учет типа логических функций при определении степени

надежности общесистемной закономерности осуществим с помощью понятия *релевантной* переменной.

Рассматривая конъюнкцию или ее отрицание, нетрудно видеть, что любая переменная в этом случае является релевантной в том смысле, что изменение ее значения на противоположное меняет (в случае конъюнкции), или во всяком случае может изменить, валентное значение логической функции (в случае отрицания конъюнкции) с истинного на ложное. В общем случае не все переменные являются релевантными. Например, в случае импликации $x_i \supset x_k$ переменная x_i не релевантна, поскольку замена x_i на $\bar{x}_i$ не может сделать истинную импликацию $x_i \supset x_k$ ложной. Логические функции можно классифицировать по числу переменных, являющихся релевантными. Поэтому учет числа таких переменных в формуле, определяющей меру надежности, будет означать *ipso* учет типа логической функции.

В случае, когда все переменные иррелевантны, надежность закономерности должна быть максимальной, поскольку любые изменения значений переменных не выводят логическую функцию из значения истины. Таблица истинности в этом случае выражается столбцом из всех единиц независимо от значений переменных. Опровергнуть подобную закономерность никаким опытом невозможно, она всегда имеет место.

Противоположный случай — отсутствие разрешенных комбинаций значений параметров. Здесь надежность закономерности равна нулю, поскольку она опровергается любой комбинацией значений параметров. Таким образом, функция, определяющая надежность закономерности для любой логической функции, должна удовлетворять дополнительным требованиям, выдвинутым выше.

Обозначим эту функцию через R_i (где i пробегает множество рассматриваемых логических функций), а символами $p(y_1), \dots, p(y_k)$ — вероятности того, что произвольно взятая система обладает положительными значениями релевантных переменных $y_1, y_2, \dots, y_k$ из списка переменных $y_1 y_2 \dots y_n$. Остальным иррелевантным $n - k$ переменным сопоставим вероятности равные единице. Тогда для любого типа логической функции можно записать следующую формулу $R_i = p(y_1), \dots, p(y_n) \cdot 1 \cdot 1 \cdot \dots \cdot 1$. Данное выражение учитывает оба рассмотренных выше случая. Если все переменные релевантны, то получаем $R_i = p(y_1), \dots, p(y_n)$, если же ни одна из них не релевантна ($k = 0$), имеем $R_i = 1$.

Другой, более простой, хотя и менее адекватный метод учета структуры логической функции, выражающей связь между системными параметрами, заключается в простом учете числа комбинаций, в которых та или иная логическая функция будет истинна. Число единиц в соответствующей колонке таблицы валентностей можно рассматривать в качестве показателя надежности закономерности, выражаемой данной функцией, если отнести это число к числу всех возможных значений комбинации из n пере-

менных. Таким образом, можно записать $R_l = l/2^n$ в качестве формулы для определения меры надежности соответствующего типа закономерности, где l — число единиц в соответствующей колонке валентностей. В случае, если переменные принимают три и более значений, все соотношения значительно усложняются. Для их вывода необходимо привлечение понятий многозначной логики.

Проблема оптимизации отбора системных параметров второго уровня

Для развития системных исследований во многих случаях предпочтительнее другой путь решения проблемы надежности общесистемных закономерностей — отбор системных параметров независимо от того или иного конкретного типа закономерностей. Такой отбор может иметь двоякий характер. Прежде всего можно вернуться к первоначальному списку параметров и на базе проведенного исследования заменить менее существенные параметры более существенными. Более перспективным нам представляется иной способ, когда новые параметры определяются как параметры второго уровня, значения которых представляют собой комбинации значений отдельных параметров первого уровня. Для оптимального выбора параметров второго уровня необходимо прежде всего иметь критерии оптимальности системного параметра.

Рассмотрим некоторый параметр x_k , имеющий n значений $x_k^1, \dots, x_k^n$. Пусть p_k^i означает вероятность того, что произвольно взятая система обладает i -м значением параметра x_k^n , где $1 \leq i \leq n$. Тогда $H(x_k^n) = - \sum_{i=1}^n p_k^i \lg p_k^i$ представляет собой *энтропию*

параметра x_k^n на данном множестве систем M .

Будем различать фактическую энтропию, которой обладает некоторый параметр, и максимально возможную энтропию, имеющую место при $p_k^1 = p_k^2 = \dots = p_k^n = 0,5$. Обозначим их соответственно $H_f(x_k^n)$ и $H_{\max}(x_k^n)$. Отношение $H_f(x_k^n)$ к $H_{\max}(x_k^n)$ можно рассматривать как меру оптимальности параметра:

$$R(x_k^n) = \frac{H_f(x_k^n)}{H_{\max}(x_k^n)}.$$

Оптимальность параметра принимает наибольшее значение, равное единице, при совпадении фактической энтропии и максимальной. Если некоторые значения системного параметра характеризует очень малое число систем, то его оптимальность близка к нулю. Оптимальные параметры не дадут максимального значения коэффициента надежности ни для одного типа системных закономерностей. Но вместе с тем ни в одном случае закономерности,

связывающие такие параметры, не дадут и минимального значения надежности. Более детальное исследование зависимости между надежностью закономерности и оптимальностью параметров выходит за рамки настоящей статьи.

Среди рассматриваемых нами системных параметров не все оказываются с высоким коэффициентом оптимальности. Однако на базе неоптимальных параметров можно построить оптимальные. Как это сделать?

Упорядочим множество значений каждого из рассматриваемых системных параметров по величине вероятности их положительных значений. В предельном случае оптимальности параметра все значения равновероятны и можно их не упорядочивать. Если параметр принимает n значений, то положительными будем считать те его значения, вероятность которых не больше $1/n$, и отрицательными — значения, превышающие эту величину.

Рассмотрим пару двузначных параметров, не являющихся оптимальными, со значениями x_k^1, x_k^2 и x_e^1, x_e^2 . Определим операцию сложения таких параметров следующим образом. Положительным значением параметра $x_m = x_{k+e}$ будем считать логическую сумму положительных значений параметров x_k и x_e , т. е. $x_{k+e}^1 = x_k^1 \cup x_e^1$. Отрицательное значение параметра x_{k+e}^2 образуется как логическое произведение исходных параметров $x_{k+e}^2 = x_k^2 \cap x_e^2$. Операция сложения параметров означает построение параметра $x_m = x_k + x_e$ на основе заданных параметров x_k и x_e .

Если параметр x_m участвует в дальнейших операциях и вероятность появления x_m^1 выше, чем x_m^2 , то применительно к x_m вступает в силу соотношение о переименовании.

Аналогичным образом определим операцию умножения параметров $x_n = x_{ke} = x_k \cdot x_e$. Произведением параметров $x_k \cdot x_e$ будем называть новый параметр x_n , положительное значение которого x_n^1 является логическим произведением значений x_k^1 и x_e^1 , а отрицательное значение — логической суммой значений x_k^2 и x_e^2 , т. е. $x_{ke}^1 = x_k^1 \cap x_e^1$ и $x_{ke}^2 = x_k^2 \cup x_e^2$. Обобщение указанных операций на случай многозначных параметров может быть осуществлено различными способами. Один из них следующий. Предположим, что число значений параметров, над которыми производится операция сложения или умножения, одинаково. Тогда сумму параметров определим как $x_m^n = x_{k+e}^n = x_k^n + x_e^n$, т. е. x_m^1 является логической суммой x_k^1 и x_e^1 , в качестве x_m^2 возьмем логическую сумму x_k^2 и x_e^2 . Считаем, что значениями x_m^2 обладают только те системы, которые не обладают уже определенным значением x_m^1 . Аналогично в качестве x_m^3 берем логическую сумму x_k^3 и x_e^3 и считаем, что в этом случае системы не обладают значениями x_m^1 и x_m^2 . Эту процедуру продолжим вплоть до последнего значения. x_k^n опре-

делим не как логическую сумму, а как логическое произведение значений x_k^n и x_e^n .

Аналогично можно определить и произведение многозначных параметров.

Определим еще понятие «дополнение параметра». Дополнением параметра x_k^n будем называть параметр $\bar{x}_k^n$, такой, что $x_m^n = x_k^n + \bar{x}_k^n$ будет представлять собой оптимальный параметр, т. е. параметр с мерой оптимальности, равной единице.

Операции, введенные нами на множестве параметров, образуют булеву алгебру для двузначных параметров [3]. Этот факт имеет решающее значение для разработки методов конструирования оптимальных параметров второго уровня на базе неоптимальных параметров первого уровня.

Мы можем использовать любую систему, являющуюся интерпретацией булевой алгебры, для получения моделей построения оптимальных параметров. В частности, особенно удобно использовать исчисление высказываний. Здесь в качестве единицы выступает истинность, а в качестве нуля — ложность высказывания. Поэтому аналогом сложного оптимального параметра, т. е. оптимального параметра второго уровня, является всегда истинное сложное высказывание — тавтология.

Любая тавтология исчисления высказываний может рассматриваться как модель построения оптимального параметра второго уровня.

Рассмотрим конкретный пример. В качестве тавтологии возьмем одну из простейших $a \vee \bar{a}$. В качестве аналога a выступает любой неоптимальный параметр x_i первого уровня. Аналогом $\bar{a}$ будет любое дополнение параметра x_i до оптимального. Возникает задача нахождения таких дополнений. Простейший метод решения этой задачи заключается в следующем. На основе проведенного исследования, результаты которого зафиксированы в табл. 4, выпишем несовместимые значения пар сопоставляемых параметров x_i и x_j . При этом будем допускать известную неточность, предполагая, что взаимное исключение значений параметров имеет место, если эти значения сочетаются в менее, чем 0,1 всех возможных случаев. Каждому из сопоставляемых значений параметров припишем частоту, с которой он обнаруживается. Суммируем эти частоты. Полученная сумма будет выражать частоту одного из значений суммарного параметра $x_i + x_j$. Затем определим частоту его положительного значения согласно правилу, введенному выше. Результаты этих вычислений см. в табл. 7.

В строках 5 и 13 этой таблицы суммарное значение частот сопоставляемых значений параметров принимает абсурдное значение больше единицы. Это является следствием допущенной неточности при определении взаимоисключения. Округляя полученное значение, мы приписываем в последней колонке этих строк значения 0,000. Приведенные результаты показывают, что схема тав-

Таблица 7

№	Значение параметра x_i	Его частота	Значение параметра x_j	Его частота	Суммарное значение частот $(x_i) + (x_j)$	Суммарный параметр $x_i + x_j$	Частота его положительного значения
1	x_1	0,127	$\bar{x}_2$	0,796	0,923	$x_1 + \bar{x}_2$	0,077
2	x_1	0,127	$\bar{x}_4$	0,123	0,250	$x_1 + \bar{x}_4$	0,250
3	x_1	0,127	$\bar{x}_8$	0,473	0,600	$x_1 + \bar{x}_8$	0,400
4	x_1	0,127	$\bar{x}_7$	0,237	0,364	$x_1 + \bar{x}_7$	0,364
5	x_1	0,127	$\bar{x}_{12}$	0,898	1,025	$x_1 + \bar{x}_{12}$	0,000
6	x_{12}	0,102	$\bar{x}_1$	0,873	0,975	$x_{12} + \bar{x}_1$	0,025
7	x_1	0,127	$\bar{x}_{20}$	0,170	0,297	$x_1 + \bar{x}_{20}$	0,297
8	x_6	0,473	$\bar{x}_{13}$	0,233	0,606	$x_6 + \bar{x}_{13}$	0,394
9	x_6	0,473	$\bar{x}_{14}$	0,219	0,692	$x_6 + \bar{x}_{14}$	0,308
10	x_6	0,473	$\bar{x}_{15}$	0,246	0,719	$x_6 + \bar{x}_{15}$	0,281
11	x_7	0,763	$\bar{x}_{20}$	0,170	0,903	$x_7 + \bar{x}_{20}$	0,097
12	x_8	0,235	$\bar{x}_9$	0,753	0,988	$x_8 + \bar{x}_9$	0,002
13	x_9	0,247	$\bar{x}_8$	0,765	1,012	$x_9 + \bar{x}_8$	0,000
14	x_9	0,247	$\bar{x}_{11}$	0,169	0,416	$x_9 + \bar{x}_{11}$	0,716
15	x_{11}	0,169	$\bar{x}_{13}$	0,233	0,402	$x_{11} + \bar{x}_{13}$	0,402
16	x_{11}	0,169	$\bar{x}_{15}$	0,246	0,415	$x_{11} + \bar{x}_{15}$	0,415
17	x_{11}	0,169	$\bar{x}_{16}$	0,456	0,625	$x_{11} + \bar{x}_{16}$	0,375
18	x_{11}	0,169	$\bar{x}_{20}$	0,170	0,339	$x_{11} + \bar{x}_{20}$	0,339
19	x_{13}	0,233	$\bar{x}_{14}$	0,219	0,442	$\bar{x}_{13} + \bar{x}_{14}$	0,442
20	x_{16}	0,544	$\bar{x}_{13}$	0,233	0,777	$x_{16} + \bar{x}_{13}$	0,223
21	x_{16}	0,544	$\bar{x}_{15}$	0,246	0,780	$x_{16} + \bar{x}_{15}$	0,210
22	x_{19}	0,416	$\bar{x}_{20}$	0,170	0,586	$x_{19} + \bar{x}_{20}$	0,414

тологии $a \vee \bar{a}$ не дает применительно к нашим данным ни одного оптимального параметра в строгом смысле этого слова. Однако, если мы либерализуем условие оптимальности, допуская отклонение от оптимального значения на 0,1, то шесть суммарных параметров могут претендовать на оптимальность. Это параметры $x_1 + x_6$, $x_9 + x_{11}$, $x_{11} + \bar{x}_{13}$, $x_{11} + \bar{x}_{15}$, $\bar{x}_{13} + x_{14}$, $x_{19} + \bar{x}_{20}$. Особенно близок к оптимальному параметр $x_{13} + \bar{x}_{14}$, положительное значение которого встречается с частотой 0,442.

Результат, полученный формально, может затем быть осмыслен содержательно путем нахождения того общего, что объединяет соответствующие значения суммируемых параметров. Так, отсутствие упорядоченности ($\bar{x}_{13}$) и элементарноавтономности ($\bar{x}_{14}$) можно трактовать как определенный вид хаотичности. В таком случае противоположное значение суммарного параметра будет выражать специфическую форму организации системы.

Мы рассмотрели вопрос об использовании простейшей тавтологии $a \vee \bar{a}$. Более ценным может оказаться использование дру-

гих тавтологий, в частности, включающих в себя три и более пропозициональных переменных. Для того чтобы такую тавтологию использовать, ее необходимо привести к нормальной форме, ибо только в этом случае будет иметь место взаимно однозначное соответствие между логическими связками и введенными нами операциями сложения, умножения и дополнения системных параметров. Построение системных параметров с помощью более сложных тавтологий, равно как и определение связей между ними, является задачей дальнейших исследований.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Богданович В. И.* Формальная типология системных параметров. — «Методология системных исследований» (в печати).
2. *Боулдинг К.* Общая теория систем — скелет науки. — «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
3. *Владимиров Д. А.* Булевы алгебры. М., 1969.
4. *Портнов Г. Я.* Общесистемные закономерности и методы их выявления. Канд. дисс. Одесса, 1969.
5. *Рапопорт А.* Различные подходы к общей теории систем. — «Системные исследования. Ежегодник 1969». М., 1969.
6. *Рапопорт А.* Математические аспекты абстрактного анализа систем. — «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
7. *Уёмов А. И.* Системы и системные параметры. — «Проблемы формального анализа систем». М., 1968.
8. *Уёмов А. И.* Логический анализ системного подхода к объектам и его место среди других методов исследования. — «Системные исследования. Ежегодник 1969». М., 1969.
9. *Юл Дж. Э., Кендэл М. Дж.* Теория статистики. М., 1960.

ОПЫТ АКСИОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ

Ю. А. УРМАНЦЕВ

Предисловие

Несколько лет тому назад в одной из своих работ [13] мы писали: «Итак, живая природа по целому ряду признаков — симметризации и диссимметризации, правизне и левизне, диссизоморфизму и диссполиморфизму, диссизомерии, диастереомерии, мезоморфизму, конформационным явлениям (а весьма возможно и по D , L , DL рядам полиморфизма), ряду математических законов — оказалась едина с неживой. Таким образом, вырисовывается факт выдающегося значения — факт глубокого и разнообразного единства Природы в отношении указанных признаков» [13, стр. 188].

Размышления о причинах и границах такого единства и привели нас к «общей теории систем» (ОТС). Ни одна из предлагавшихся тогда таких теорий — Л. фон Бергаланфи [2], М. Месаровичем [10], а в последние годы А. И. Уемовым с сотрудниками [12] — к сожалению, не объясняли причин такого соответствия и хотя бы приблизительно не очерчивали его границу. В этом нас убедили и многочисленные серьезные критические работы В. А. Лекторского, В. Н. Садовского, И. В. Блауберга, Э. Г. Юдина, В. И. Кремянского, Г. П. Щедровицкого, Н. Ф. Овчинникова, В. С. Тюттина, Р. Акофа, М. М. Топера, М. И. Сетрова (обзор этих работ и библиографию см. в [3]).

Все это заставило нас самостоятельно искать ответы на возникшие вопросы. В результате удалось вчерне построить такую теорию, в которой, как будто, найдены удовлетворительные ответы на эти вопросы.

С самого начала мы полагали, что ОТС должна содержать ответы по крайней мере на следующие вопросы: 1) что *должно* быть, 2) что *может* быть и 3) чего *быть не может* для любых систем. Это означает, что такая ОТС должна быть не только правильной, но и истинной — с самого начала ориентированной на реальные системы. В этом смысле она должна содержать обобщения, объяснения, предсказания, постановку новых вопросов, связи с наиболее важными научными теориями и принципами.

В качестве критериев правильности построения ОТС мы выбрали обычные для логиков и математиков критерии полноты, независимости, непротиворечивости; в качестве критерия же истинности мы выбрали критерий согласия с реальными системами: противоречие с ними было бы сигналом к пересмотру предлагаемой концепции, согласие — поводом для дальнейшего движения по избранному пути. Таким образом, сам наш подход к построению ОТС методологически существенно отличается от некоторых других подходов к решению этой задачи, носящих конвенционалистский характер.

Далее, вслед за Р. Акофом и М. М. Топером (см. [3]) мы считали, что ОТС не должна начинать с изоморфизма или точнее — разнообразных соответствий в Природе, а должна привести к ним.

Ограниченные объемом статьи, мы в этой работе вынуждены провести лишь «красную линию» теории, отбрасывая по ее ходу множество возникающих вопросов и не затрагивая ряда рассматриваемых в литературе и имеющих у автора математических построений. Необходимо также отметить, что предлагаемая ОТС — это теория с аксиоматическими предпосылками, четко выявленными, но не сформулированными еще в виде аксиом. Не найден пока для нашего варианта ОТС еще и список правил вывода. Все это — дело будущего. Поэтому данный вариант ОТС мы рассматриваем как черновой. Однако в свою защиту заметим, что более 99% научных теорий в этом смысле также построены лишь вчерне. Но это, как известно, не помешало их признать и сделать посредством них основную массу научных открытий, обобщений и предсказаний. Очевидно, дело здесь не столько в формализме, сколько в логических и методологических предпосылках той или иной теории.

Предпосылки ОТС

В качестве основных предпосылок ОТС, которых необходимо и достаточно для построения систем любого рода — материальных и (или) идеальных, мы выбрали следующие пять а к с и о м а т и ч е с к и х у с л о в и й: (1) *существование*, (2) *множество объектов*, (3) *единое*, (4) *единство*, (5) *достаточность*.

С условием (1) приходится считаться потому, что существование — фундаментальная характеристика системы. В согласии с диалектическим материализмом существование мы характеризуем через его формы. Поэтому условие (1) рассматривается либо как пространство, либо как время, либо как движение, либо как различные комбинации из этих трех форм — по две и по три.

Условие (2) мы понимаем как множество самых различных объектов. Фактически — это «Мир» как он дан еще до какой-либо систематизации его объектов. Условие (2) приходится принимать во внимание при построении системы: последнее невозможно осуществить, не имея нужные для этого объекты.

Условие (3) — «единое» — это некоторое одинаковое для всех композиций данной системы свойство или признак; логически — это основание классификации. В дальнейшем такие признаки называются A_i -признаками. Необходимость учета условия (3) также возникает при построении системы: данную — i -ю — систему приходится строить лишь из объектов, обладающих A_i признаками.

Условие (4) — «единство» — понимается двояко: с одной стороны — как такое отношение между определенными объектами, благодаря которому возникают новые для них и всей их совокупности свойства — аддитивные, неаддитивные, аддитивно-неаддитивные; с другой стороны — как отдельный объект. Фундаментальное значение условия (4) для существования систем очевидно.

Условие (5) — «достаточность». Оно здесь понимается в том самом смысле, когда говорят о необходимости достаточного количества материала для сооружения чего-либо. Без достаточного количества объектов построение и существование какой бы то ни было системы невозможно.

Построение абстрактной системы

Под «абстрактной системой» мы понимаем такую систему, по отношению к которой все остальные системы суть те или иные ее интерпретации, суть те или иные конкретные ее реализации. Основываясь на предпосылках (1) — (5), ниже мы построим и дадим алгоритм построения абстрактной системы. В самом общем виде это построение свелось: 1) к отбору из универсума M по некоторому единому основанию $A_i^{(0)}$ определенной совокупности объектов — $M_i^{(0)}$; 2) к наложению на последние определенных отношений единства $R_i^{(1)}$ и к образованию благодаря этому по закону $Z_i^{(1)}$ множества композиций $M_i^{(1)}$; 3) к такому изменению композиций множества $M_i^{(1)}$ и к такому выводу согласно отношениям $R_i^{(2)}, R_i^{(3)}, \dots, R_i^{s+1}$ и законам композиции $Z_i^{(2)}, Z_i^{(3)}, \dots, Z_i^{s+1}$ множеств композиций $M_i^{(2)}, M_i^{(3)}, \dots, M_i^{s+1}$, при которых композиции всех этих множеств оказываются построенными из элементов одного и того же множества $M_i^{(0)}$; 4) к выводу всех возможных для данных $A_i^{(j)}, R_i^{(j)}, Z_i^{(j)}$ множества объектов M_i , или системы $S_i = \{M_i^{(0)}, M_i^{(1)}, \dots, M_i^{s+1}\}$.

Однако перейдем к самому построению абстрактной системы.

Образуем прежде всего комбинацию (1) (2) — «*существование множества объектов*» и далее (1) (3) (2) — «*существование единого множества объектов*». Последнему размещению отвечают находящиеся как в объективной, так и в субъективной реальности специфические подмножества объектов — $M_i^{(0)}$, выделенные согласно признакам A_i по законам $Z_i^{(0)}$ из существующего (бесконечного)

множества объектов (Мира) т. е. из M . Таким образом, любое из $M_i^{(0)}$ равно или содержится в M : $M_i^{(0)} \subseteq M$. Мощност каждого из $M_i^{(0)}$ есть $p_i^{(0)}$, число различных видов их объектов — $a_i^{(0)}$.

Пример 1. Согласно определенным свойствам или, быть может, лучше сказать условиям A_1 и законам множества $\{Z_1\}$ в природе объективно произошло и происходит выделение атомообразующих объектов — протонов, нейтронов, электронов...

Пример 2. Согласно другим признакам A_2 и законам множества $\{Z_2\}$ по воле человека, стало быть субъективно, произошло и происходит выделение таких геометрических объектов, как «точек», «линий», «плоскостей».

З а м е ч а н и е 1. Различием примеров 1, 2 и ими самими мы еще раз подчеркиваем, что предлагаемый способ построения систем применим как для материальных, так и для идеальных систем.

Комбинация (1) (4) (3) (2) означает «*существование единства единого множества объектов*». Эта комбинация означает, что выделенные по A_i признакам объекты каждого существующего специфического множества объектов $M_i^{(0)}$ находятся в известных — i -тых — отношениях единства. Так, в примере 1 протоны, электроны, нейтроны могут прийти и приходят в атомообразующие отношения; в примере 2 «точки», «прямые» и «плоскости» могут находиться, а в известных условиях и находятся в отношениях «лежит на...», «между», «конгруэнтны».

Комбинация (1) (4) (3) (2) означает и *существование нового объекта*, ибо единство существующего единого множества объектов — это *новый объект*. В примере 1 единство протонов, нейтронов и электронов — это атом, в примере 2 единство «точек», «прямых» и «плоскостей» — это концептуальное пространство. Наконец, учтем, что отношения единства, где бы они ни возникали, — в природе и (или) в уме человека — должны подчиняться требованиям определенных законов. В примере 1 — законам атомной физики, в примере 2 — аксиомам связи, порядка, конгруэнтности, непрерывности, параллельности и следующим из них теоремам.

В силу сказанного мы имеем право назвать: 1) все объекты, возникающие благодаря отношениям единства из ряда объектов $M_i^{(0)}$, — *композициями*, или $k_i^{(j)}$; 2) участвующие в образовании $k_i^{(j)}$ объекты из $M_i^{(0)}$ — *первичными элементами*, 3) $M_i^{(0)}$ — i -ми *множествами первичных элементов*, 4) законы единения — *законами композиции*, или $Z_i^{(j)}$.

Все композиции, первичные элементы которых принадлежат к одному и тому же множеству первичных элементов $M_i^{(0)}$, могут иметь тройное происхождение — непосредственное, опосредствованное, то и другое. Остановимся на первом из них.

Обозначим множество композиций, которые могут возникнуть непосредственно из тех или иных первичных элементов данного

множества $M_1^{(0)}$, через $M_1^{(1)}$, общее число таких композиций (мощность) — через $p_1^{(1)}$, законы их композиции — через $Z_1^{(1)}$. Если множество $M_1^{(1)}$ — не пустое, то оно могло возникнуть: а) сразу из всех $p_1^{(0)}$ элементов или б) из различных — l_1 — частей $M_1^{(0)}$; в) одним или г) многими — μ_1 — способами. При варианте а), в) $p_1^{(1)} = 1$; а), г) $p_1^{(1)} = \mu_1$; б), в) $p_1^{(1)} = l_1$; б), г) $p_1^{(1)} = l_1 \mu_1$. Последний способ содержит в виде частных случаев все предыдущие. Для дальнейшего в целях наибольшей общности мы обязаны считать, что $p_1^{(1)} = l_1 \mu_1 \geq 0$ и $M_1^{(1)}$ определяется не одним, а множеством различных законов композиции $\{Z_1^{(1)}\}$.

Комбинация (1) (4) (3) (2) означает и «существование единства единого множества объектов». Если $p_1^{(1)} \neq 0$, то по отношению к любым k_j из $M_1^{(1)}$ — их существование по меньшей мере означает, что они изменчивы. Но изменение k_j из $M_1^{(1)}$ приведет к возникновению q ($q \geq 0$) композиций k' . Анализируя этот вопрос, мы тем самым переходим к рассмотрению и опосредствованных вариантов происхождения композиций.

С точки зрения первичных элементов здесь могут быть следующие случаи:

1. Первичные элементы каждого из q композиций k' принадлежат $M_1^{(0)}$.

2. Первичные элементы ни одного из q композиций k' не принадлежат $M_1^{(0)}$.

3. Первичные элементы q_1 композиций k' принадлежат $M_1^{(0)}$, а $(q - q_1)$ — не принадлежат $M_1^{(0)}$. Последний случай — наиболее общий: когда $q_1 = q$, то $q - q_1 = 0$ и мы имеем случай 1; когда $q_1 = 0$, то $q - 0 = q$ и имеем случай 2; когда же $q > q_1 \geq 1$, то $q - q_1 \neq 0$ или q и имеем случай 3. Поэтому в дальнейшем мы будем исходить из варианта 3.

Образуем из q_1 ($q \geq q_1 \geq 0$) композиций k' , первичные элементы которых принадлежат $M_1^{(0)}$, множество M . Тогда по отношению к $M_1^{(1)}$ оно может находиться в следующих трех отношениях (знаки $\subseteq$, $\cap$, $\emptyset$, $\in$, как всегда, означают соответственно «содержит или равно», «пересечение», «нуль-множество», «принадлежит»).

а) $M \subseteq M_1^{(1)}$,

б) $M \cap M_1^{(1)} = \emptyset$,

в) $M \cap M_1^{(1)} \neq \emptyset$.

Из предыдущего понятно, что варианты а), б) — частные случаи в). Для нас здесь важны лишь те k' , которые не принадлежат пересечению M и $M_1^{(1)}$ и, стало быть, являются новыми композициями. Образуем из таких новых k' подмножество $M_1^{(2)'}$, а его мощность обозначим символом $p_1^{(2)'}$. Понятно, что $k' \in M_1^{(2)'}$ возникли

изменением $k \in M_1^{(1)}$, согласно законам композиции множества $\{Z_1^{(2)'}\}$.

Композиции, обладающие такими же характеристиками, что и k' (обозначим их через k''), могли возникнуть и другими путями. Пусть множество таких композиций k'' суть $M_1^{(2)'}$, мощность этого множества — $p_1^{(2)'}$ ($p_1^{(2)'} \geq 0$), законы композиции — $Z_1^{(2)'}$. Тогда, объединяя множества $M_1^{(2)'}$ и $M_1^{(2)'}$, получим новое множество композиций $M_1^{(2)}$ с мощностью $p_1^{(2)}$, законом композиции $Z_1^{(2)}$, с множеством определенных на $M_1^{(2)}$ законов композиции $\{Z_1^{(2)}\}$.

Повторяя аналогичные рассуждения, мы придем к возможности существования $M_1^{(3)}$, $M_1^{(4)}$, $M_1^{(5)}$, ..., $M_1^{(s)}$ множеств композиций. Причем ни одно из них не будет содержать общих композиций и, следовательно, пересечение всех этих множеств друг с другом будет равно нуль-множеству: $\bigcap_{i=1}^s M_1^{(i)} = \emptyset^*$, их мощности

будут равны соответственно $p_1^{(1)}$, $p_1^{(2)}$, $p_1^{(3)}$, ..., $p_1^{(s)}$, числа различных сортов их композиций — $a_1^{(1)}$, $a_1^{(2)}$, $a_1^{(3)}$, ..., $a_1^{(s)}$; их законами композиции будут $Z_1^{(1)}$, $Z_1^{(2)}$, $Z_1^{(3)}$, ..., $Z_1^{(s)}$, а сами множества определенных на подмножествах законов будут $\{Z_1^{(1)}\}$, $\{Z_1^{(2)}\}$, ..., $\{Z_1^{(s)}\}$.

Очень важное замечание 2. Возникновение $M_1^{(i)}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, s$) множестве возможно в том и только в том случае, когда при преобразовании композиций одних множеств в композиции других множеств изменяются: 1) только состав, 2) только отношения, 3) состав и отношения, 4) сами первичные элементы — друг в друга (вне или в сочетании с предыдущими случаями). Отсюда тотчас следует, что в множествах композиций, отвечающих условиям 1) — 4), могут реализоваться явления: 1) одно- или (и) двусторонних превращений (преобразований) одних композиций в другие, 2) прибавления и возникновения композиций с увеличенным числом элементов, 3) вычитания и возникновения композиций с уменьшенным числом элементов, 4) обмена — вычитания и прибавления — элементов, 5) одно- или (и) двусторонних превращений одних первичных элементов в другие. Заметим также, что в процессах прибавления, вычитания, обмена (замещения), превращения могут участвовать один и более элементов.

Все отмеченные здесь явления хорошо известны в кристаллохимии и генетике (NB прежде всего данные о существовании структур вычитания, прибавления, с дырками, внедрения и т. п.). Однако, насколько нам известно, ни в кристаллохимии, ни в генетике, ни в какой-нибудь другой науке общая природа рассматриваемых явлений и условий их реализации не осознана.

* Требование, чтобы $\bigcap M_1^{(i)} = \emptyset$ — очень сильное. Сейчас мы исходим из более слабого требования — того, чтобы в общем случае $\bigcap M_1^{(i)} \neq \emptyset$. При этом принципиальные предположения ОТС остались неизменными.

До сих пор мы никак не анализировали те композиции, которые могли возникнуть из тех или иных композиций $M_1^{(i)}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, s$) благодаря изменению всех или части их первичных элементов. В целях наибольшей общности теории возможность образования таких композиций, которые по своим первичным элементам не принадлежат к $M_1^{(0)}$, очевидно, необходимо допустить. Обозначим множество всех таких композиций через E . Изменение некоторых или всех композиций из E и любых других множеств (кроме $M_1^{(i)}$) в принципе также может привести к образованию таких композиций, которые по своим первичным элементам могут принадлежать к $M_1^{(0)}$ и которые тем не менее могут не принадлежать ни к одному из s предыдущих множеств (в случае их принадлежности $M_1^{(i)}$ это может привести лишь к изменению мощности этих множеств). Более того, изменение таких $k \notin M_1^{(i)}$ может породить новое множество множеств композиций. Обозначим множество множеств всех таких $k \notin M_1^{(i)}$ — независимо от способа их происхождения — через $M_1^{(s+1)}$, его мощность — через $p^{(s+1)}$, закон композиции — через $Z_1^{(s+1)}$.

Проведенный анализ важен и с другой стороны. Из него следует, что с точки зрения «входа» и «выхода» для композиций возможны множества следующих четырех типов: 1) без входа и выхода, 2) со входом, но без выхода, 3) с выходом, но без входа, 4) со входом и выходом. Множества композиций: типа 1 — закрытое, 2 и 3 — одностороннее, 4 — двустороннее открытое. Не трудно указать и на модели таких множеств; таковы в астрономии различные «миры», способные или неспособные к одно- или (и) двустороннему обмену информацией; в термодинамике — физико-химические системы, неспособные или в той или иной мере способные к обмену со средой веществом и энергией; в алгебре — замкнутые и так или иначе открытые по отношению к данным законам композиции множества; в кибернетике — различные «ящики».

В итоге мы видим, что в общем случае любое i -тое множество M_i композиций гетерогенно, так как: 1) M_i есть множество множеств — $M_i = \{M_i^{(0)}, M_i^{(1)}, M_i^{(2)}, \dots, M_i^{(s+1)}\}$, — одинаковых по их принадлежности с точки зрения первичных элементов к $M_i^{(0)}$, но различных по их генезису. И в силу того, что $\bigcap_{j=1}^{s+1} M_i^{(j)} = \emptyset$, объединение всех этих подмножеств равно $M_i' : M_i = \bigcup_{i=0}^{s+1} M_i^{(i)}$.

2) Мощность M_i -го множества $m_i = \sum_{j=0}^{s+1} p_i^{(j)}$. 3) Закон композиции Z_i множества $k \in M_i$ выражается множеством множеств законов композиций $\{\{Z_i^{(0)}\}, \{Z_i^{(1)}\}, \{Z_i^{(2)}\}, \dots, \{Z_i^{(s+1)}\}\}$. В целях наибольшей общности можно принять, что $\{Z_i^{(j)}\}$ пересекаются, т. е.

$\bigcap_{j=0}^{s+1} \{Z_i^{(j)}\} \neq \emptyset$. В частности может быть, что все $\{Z_i^{(j)}\}$ одинаковы, область их пересечения равна $\bigcap_j \{Z_i^{(j)}\} = \{Z_i^{(j)}\} = Z_i$; или все $\{Z_i^{(j)}\}$ различны и область их пересечения равна $\bigcap_j \{Z_i^{(j)}\} = \emptyset$ и тогда $\{Z_i\} = \bigcup_{j=0}^{s+1} \{Z_i^{(j)}\}$. Построение абстрактной системы закончено.

О п р е д е л е н и е. Система S — это i -е множество композиций M_i , построенное по отношению R_i , закону композиции Z_i из первичных элементов множества $M_i^{(0)}$, выделенных по основанию $A_i^{(0)}$ из множества M .

Из данного итога следует, что в общем случае на системе S_i реализуется не одно, а множество оснований $A_i^{(j)}$, отношений $R_i^{(j)}$ и законов композиции $Z_i^{(j)}$. Очевидно, когда множество законов композиции пустое, т. е. $\{Z_i\} = \emptyset$, то мы придем к определению системы S_i , основанному только на A_i и R_i (типа Месаровича и Умова). Принимая же во внимание случай, когда и множество отношений пустое, т. е. и $\{Z_i\} = \emptyset$ и $\{R_i\} = \emptyset$, мы придем к определению системы S_i , основанному на одном лишь основании $A_i^{(0)}$ (например, типа Холла и Фейджина). Таким образом, приведенное определение системы содержит в виде частных случаев все определения системы, данные до сих пор. Конечно, формально систему можно задавать не только 1, 2, 3, но и n признаками. В таком случае разумно различать соответственно числу признаков системы 1-й, 2-й, ..., n -й «степеней», т. е. $S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$, ..., $S_i^{(n)}$. Здесь «степени» (1), (2), ..., (n) информируют, во-первых, о роде абстрактной системы, во-вторых, о той величине, с какой определена системность на данном множестве объектов, в-третьих, о действительной значимости работ и тех авторов, которые имели дело с системами родов $S_i^{(1)}$ и $S_i^{(2)}$.

Закон полиморфизации

Т е о р е м а 1. Любой объект k должен принадлежать к n ($n = 1, 2, 3, \dots$) множествам композиций M_i , построенным по A_i основаниям, R_i отношениям и Z_i законам композиции из $p_i^{(0)}$ первичных элементов $a_i^{(0)}$ видов множества $M_i^{(0)}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$; $i = 1, 2, \dots, n$). Иначе: любой объект k есть системный объект и он должен поэтому — по определению — принадлежать по меньшей мере к одной системе объектов того же рода. Слова «объекты того же рода» означают, что все они построены из той или иной части одного и того же множества первичных элементов $M_i^{(0)}$ в соответствии с одним и тем же законом композиции Z_i .

Д о к а з а т е л ь с т в о. Мы покажем, что: I) любой объект — системный, II) он должен принадлежать к системе объектов

того же рода — M_k ; III) он должен принадлежать к n системам и $n \geq 1$.

I) Во-первых, любой объект k есть множество объектов, состоящее по крайней мере из него самого. Во-вторых, объект k есть единое множество объектов — k по меньшей мере есть единство из себя самого. В-третьих, данный объект существует — в объективной и (или) субъективной реальности — и, стало быть, он по крайней мере изменчив. Суммируя первое, второе и третье, получаем, что объект k есть системный объект (композиция).

II) Аналитически k мы должны отнести к множеству M_k , куда помимо самого k мы должны отнести подмножество $M_k^{(0)}$, состоящее из $p_k^{(0)}$ первичных элементов $a_k^{(0)}$ видов (выделенных по основанию A_k в соответствии с законом $Z_k^{(0)}$, $p_k^{(0)} \geq 1$), из которых построен объект k . Далее, к M_k мы должны отнести: 1) подмножество $M_k^{(0)'}$ из $p_k^{(0)}$ тех первичных элементов, которые могут быть выделены по тем же A_k и $Z_k^{(0)}$ ($p_k^{(0)'} \geq 0$); 2) подмножество M_k^1 из p_k^1 композиций (в том числе и сам k), которые могли образоваться из $(p_k^{(0)} + p_k^{(0)'})$ первичных элементов в соответствии (по меньшей мере) с законом Z_k^1 , которому подчиняется и k ($p_k^{(1)} \geq 1$); 3) подмножество $M_k^{(2)}$ всех тех $p_k^{(2)}$ новых композиций, которые непосредственно или опосредствованно по закону (по меньшей мере) $Z_k^{(1)}$ могли произойти из композиций подмножества $M_k^{(1)}$ ($p_k^{(2)} \geq 0$); 4) подмножество $M_k^{(3)}$ из $p_k^{(3)}$ других композиций — иного, чем в 1) — 3), происхождения, но того же рода, что и k ($p_k^{(3)} \geq 0$). Таким образом, системный объект k действительно должен принадлежать к системе объектов того же рода M_k с мощностью $p_k = (p_k^{(0)} + p_k^{(0)'} + p_k^{(1)} + p_k^{(2)} + p_k^{(3)})$ и законами композиции $\{Z_k\}$, который по меньшей мере содержит следующие подмножества законов $\{Z_k^{(0)}\}$ и $\{Z_k^{(1)}\}$.

III) Теперь докажем, что k в общем случае должен принадлежать к n системам, где $n \geq 1$. Этот вывод просто следует из того известного обстоятельства, что множество M_i по отношению к любому другому множеству M_j может находиться в следующих четырех отношениях:

1) $M_i \subseteq M_j$; 2) $M_i \supseteq M_j$; 3) $M_i \cap M_j \neq \emptyset$; 4) $M_i \cap M_j = \emptyset$. Теорема доказана *.

С л е д с т в и е. В силу того, что $n \geq 1$, любой объект k — в общем случае многосистемный.

* Сейчас Теорему 1 мы дополняем следующими двумя теоремами:

Т е о р е м а 1а. В системе S_4 , которая удовлетворяет условиям 1 замечания 2, имеет место полиморфизм. Доказывается эта теорема по определению.

Т е о р е м а 1б. Любой объект k принадлежит к n множествам полиморфических модификаций. Ее доказательство дается посредством теоремы 1. Теорема 1б и есть закон полиморфизации.

Теоремы 1, 1а, 1б позволили, во-первых, объединить с единой точки зрения огромное число подчас далеких друг от друга фактов; во-вторых, объяснить особенности их существования; в-третьих, предсказать необходимость существования такого рода явлений в тех областях, где они еще не открыты. Самое главное в теоремах 1, 1а, 1б — это требования по отношению к любому объекту его принадлежности: а) к n ($n \geq 1$) системам S_i с их неизменными параметрами $A_i, R_i, Z_i, p_i^{(0)}, a_i^{(0)}$; б) к n различным множествам полиморфических модификаций.

А теперь обратимся к отдельным фактам проявления закона полиморфизации, число которых — при желании — читатель сможет легко дополнить сам.

Набор хромосом. Принадлежит к полиплоидному ряду, $M^{(0)}$ равен множеству часто из n индивидуально различающихся хромосом; $p^{(0)}$ — величина неопределенная, $a^{(0)} = n$, Z — кратное увеличение набора. Полиморфизм хромосом открыт. Биология представляет и множество других систем со своими $M^{(0)}, p^{(0)}, a^{(0)}, Z$. Таковы, например, молекулы из молекул — *полимеры* (белки, полисахариды, нуклеиновые кислоты), *полимеры из полимеров* — *стержни* (сложные цепные молекулы и др.), *слои* (складчатые слои полипептидных цепей); *трехмерные образования* (совершенно аморфные биовещества, биокристаллы). Далее могут быть названы *системы*: *триплетов*, построенные в числе ~ 64 по определенным правилам из четырех азотистых оснований и кодирующие отдельные аминокислоты; *цистронов*, *оперонов*, *репликонов*, *сегрегонов*, или *гомологические* — ряды наследственной изменчивости Н. И. Вавилова [5]; *расчленения листовых пластинок* — ряды Н. П. Кренке (9); *полимеризации и олигомеризации* — ряды В. А. Догеля [8]; *эволюционные* — «древо жизни», *Фибоначчи* и (или) *Лукаса* и (или) *Велибекова*, — применяемые для описания рядов листо-, плодо-, чешуе-, ..., аминокислотно-расположения [14]. Отметим, что в случае ряда Фибоначчи $M^{(0)}$ состоит из единицы, $a^{(0)} = 1$, $Z = t_j = t_{j-1} + t_{j-2}$, где t_j — j -тый член ряда ($j \geq 3$). Соответственно этому имеем систему: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377,

Диссубъект — это правый (D) или левый (L) — диссимметрический (отсюда и сокращение «дисс») объект. При отражении в зеркале он изменяет в ряде отношений свою конфигурацию на противоположную: D на L , L на D . Он может быть элементарной частицей, цветком растения, спиральной туманностью, существующим лишь в воображении неправильным треугольником и т. д. Отсюда понятно, что в принципе диссубъект может принадлежать к бесчисленному множеству самых различных систем, в частности, к впервые установленной нами — диссполиморфической [13]. Как видно из самого названия системы, полиморфизм диссубъектов здесь также открыт.

Язык. Принадлежит к нескольким системам. В частности, той, где $M^{(0)}$ — это множество букв (алфавит), Z — набор правил построения слов, предложений, текстов (синтаксис). В русском языке $p^{(0)}$ можно принять равным бесконечности, $a^{(0)} = 33$.

Математика. Логика. Помимо примеров «тривиальных» систем — комбинаторных, числовых, функциональных, тригонометрических, группоидов, полугрупп, групп, колец, идеалов, тел, — математика вместе с логикой представляют примеры и более фундаментальных систем в виде разнообразных математик и логик, построенных по одному и тому же стандартному правилу: выделению определенного множества первичных элементов $M^{(0)}$, специфических межэлементных отношений и связанных с ними аксиом и правил вывода (закона композиции).

Два слова об эвристическом значении закона полиморфизации. Оно состоит в новой исследовательской ориентации и в предсказываемых результатах.

Вывод, который можно извлечь из всех наших рассуждений, состоит в следующем. Всякий раз, когда приходится иметь дело с некоторым объектом Σ , наделенным структурой, следует попытаться определить его первичные элементы и закон их композиции, и отыскав последние, предсказать число и строение, если не всех, то хотя бы части членов n множеств композиций, которые в соответствии с требованиями закона полиморфизации непременно должны существовать. Можно рассчитывать, что, идя по этому пути, удастся глубоко проникнуть во внутреннее строение как объекта Σ , так и тех n множеств композиций, которые представляет объект Σ .

Закон изомеризации

Согласно замечению 2 возникновение $M_1^{(i)}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, s$) множеств возможно только тогда, когда при преобразованиях одних композиций в другие изменяются: 1) либо только состав, 2) либо только отношения, 3) либо состав и (или) отношения между первичными элементами композиций. Сами же первичные элементы при этом остаются неизменными. Здесь мы рассмотрим системы с точки зрения условия 2) и отчасти 3).

Т е о р е м а 2: *в системах, удовлетворяющих условию 2), должна иметь место изомерия.*

Д о к а з а т е л ь с т в о. Объективно изомерия есть явление существования множества объектов, одинаковых по составу — числу и виду элементов, но различных по взаимоотношению последних. Математически изомер — это перестановка, изомерия — множество перестановок, или размещений из n элементов по n ($n = b_1, b_2, b_3, \dots, b_r$; в частном случае $n = 0, 1, 2, 3, \dots, p^{(0)}$). Из сказанного видно, что условие 2) и условия, приводящие к существованию изомерии, — тождественность по составу и различия по межэлементным взаимоотношениям — полностью совпа-

дают. Отсюда в системе S с f подмножествами $M_s^{(j)}$ ($j = 0, 1, 2, 3, \dots$; $j = 0, 1, 2, 3, \dots, f$), композиции которых одинаковы по соответствующему для j -го подмножества составу первичных элементов, но различны по взаимоотношению последних, в такой системе — по определению — должно иметь место f изомерий.

Теорема 2 позволяет предсказать возможность существования изомерии для систем самых различных форм движения и видов материи. Она позволяет объяснить сами факты широкого проявления изомерии в Природе — как следствий неспецифичности условия 2) для какой-либо области Природы; позволяет, пожалуй впервые, начать построение наиболее общего учения об изомерии. Все это и явилось реальной основой того, чтобы рассматривать теорему 2 как закон Природы — закон изомеризации.

Как известно, первоначально изомерия была открыта в 1822—1830 гг. химиками — Ф. Велером, Ю. Либихом и И. Берцелиусом на двух разных веществах одного и того же состава — циановокислом и гремучем серебре (AgCNO и AgOCN). Впоследствии это явление получило объяснение в теории химического строения А. М. Бутлерова. С тех пор исследованию изомерии химических соединений были посвящены многие тысячи работ. В химической литературе изомерии классифицируются, исходя из самых различных оснований, наиболее часто — с точки зрения отношения к отражению в зеркале. В этом последнем случае различают следующие изомерии. 1. *Диссимметрическую*. Все изомеры такой совокупности при отражении в зеркале свою конфигурацию изменяют на противоположную, т. е. являются диссимметричными (правыми — D или левыми — L). Общее число диссизомеров P при наличии k_0 , вызывающих правизну и левизну диссфакторов, в этом случае обычно подсчитывается по очень простой формуле $P_{k_0} = 2^{k_0}$, где 2^{k_0} изомеров состоят из 2^{k_0-1} пар *антиподов* (D и L), по отношению к каждой паре антиподов остальные $2^{k_0-1} - 1$ пар суть *диастереоизомеры* (раздельно изомерны). П р и м е р 3 — изомерия молекул с асимметрическими атомами (чаще всего углерода). 2. *Недиссимметрическую*. В этом случае все изомеры совокупности при отражении в зеркале свою конфигурацию не изменяют, остаются тождественными самим себе. П р и м е р 4 — изомерия некоторых углеводородов. 3. *Диссиметро-недиссимметрическую*. В этом случае при отражении в зеркале одни изомеры изменяют, другие — не изменяют свою конфигурацию на противоположную. П р и м е р 5 — изомерия винной кислоты, существующей в виде двух антиподов — D и L — и одной недиссимметрической — *мезо-модификации*.

С точки зрения с в я з е й между элементами химии различают следующие *изомеризации* — переходы одних изомеров в другие: а) *конформационную* (при этом связи сохраняются), б) *неконформационную* (связи рвутся), в) *конформационно-неконформационную* (одни связи сохраняются, другие рвутся). С точки зрения н а п р а в л е н и я различают изомеризацию *прямую*, *обрат-*

ную, обратимую — *таутомерную*, необратимую — *нетаутомерную*.

Примерно сто лет спустя после открытия химической изомерии — Отто Ганом в 1921 г. на естественно-радиоактивных изотопах протактиния 234 была открыта изомерия атомных ядер. На искусственно-радиоактивных изотопах брома 80 аналогичное открытие в 1935 г. было сделано советскими физиками Б. Курчатовым, И. Курчатовым, Л. Мысовским, Л. Русиновым. С тех пор исследованию изомерии атомных ядер посвящено более тысячи работ.

Если теорема 2 позволяет надеяться на возможность обнаружения изомерии в самых различных областях Природы, то учет неспецифической природы операции зеркального отражения, понятий «связь», «направление», «обратимость», «структура», «функция» позволяет надеяться на обнаружение и у не химических объектов различного рода изомерий.

В соответствии с этими предсказаниями в серии работ (их обзор см. в [16]) на объектах, очень резко отличных от химических соединений, — венчиках и чашечках цветков растений, их листьях, корнях, побегах, а также на животных типа *D* и *L* моллюсков, голубей «правух» и «левух»; на микроорганизмах типа *D*, *L*, *DL* *Baccillus mycoides* F., фазах митоза и мейоза; на пространственном взаиморасположении генов (типа инверсных, цис-транс...) — нами была открыта биологическая изомерия и обнаружены все те явления, которые до сих пор молчаливо рассматривались как сугубо химические. Одновременно — прежде всего на цветках растений — нами были: доказана при описании их строения необходимость привлечения из-за изомерии множества структур и видов симметрии, выведены основные классы их симметрии, установлено существование новых видов — (био)симметрических — систем, структур и организаций; изучены закономерности частот встречаемости изомеров, показано их серьезное эволюционное значение, в ряде случаев выявлены различия изомеров — в том числе антиподов — по их биохимическим и физиологическим свойствам; предложены обобщения встречаемости и свойств биоантиподов, доказано их противоречие требованиям простой и комбинированной инверсии, тем самым показано принципиальное сходство явлений, охваченных этими обобщениями, с установленными в физике элементарных частиц явлениями нарушения требований законов простой и комбинированной четности; предложена гипотеза о причинах различной встречаемости *D*, *L*, *DL* биоформ, экспериментально доказана взаимопревращаемость этих форм.

Таким образом, на основании сказанного получают объяснения факты единства живой и неживой природы как в отношении изомерии, так и в отношении связанных с нею явлений. Факты изомерии широко представлены также в различных формах человеческой деятельности. Предлагаемая в настоящем виде теория

изомерии далее может быть развита в самых различных направлениях. Здесь мы укажем на четыре из них.

Первое направление. В этом случае новые результаты были получены благодаря развиваемой нами математической теории диссфакторов. Ограниченные объемом статьи, мы не можем приводить здесь сами математические выкладки и доказательства. Поэтому укажем лишь на основные результаты.

Мы доказали, что в принципе возможно существование трех типов диссизомерии.

I тип диссизомерии известен давно. Именно этот тип рассмотрен выше. — В этом случае первоначальный состав недиссимметрированного объекта после диссимметризации и возникновения k_0 диссфакторов изменяется; состав же диссфакторов при диссизомеризациях остается неизменным. Этот тип состоит из одного единственного класса, описываемого в теории диссфакторов уравнением $S_{k_0}^{k_0} = P_{k_0} = 2^{k_0}$, и бесконечного числа родов и видов.

II тип диссизомерии, насколько известно, никем до настоящей работы не рассматривался. В этом случае первоначальный состав недиссимметрированного объекта после диссимметризации и возникновения ρ диссфакторов не изменяется. Состав же диссфакторов при диссизомеризациях изменяется. В одном из важнейших случаев II типа число диссизомеров определяется по уравнению:

$$\begin{aligned} S_{k_0+k_1+k_2+\dots+k_n}^{\rho} &= S_{k_0}^{\rho} + 2S_{k_0}^{\rho-1}(k_1+k_2+k_3+\dots+k_n) + \\ &+ 2^2 S_{k_0}^{\rho-2}(k_1k_2+k_1k_3+\dots+k_{n-1}k_n) + 2^3 S_{k_0}^{\rho-3}(k_1k_2k_3+k_1k_2k_4+\dots \\ &\dots + k_{n-2}k_{n-1}k_n) + \dots + 2^{\rho} S_{k_0}^{\rho-\rho} \sum \Pi_{k_j}^{\rho} = \sum_{i=0}^{\rho} \left(2^i S_{k_0}^{\rho-i} \sum \Pi_{k_j}^i \right) = \\ &= \sum_{i=0}^{\rho} \left[\frac{k_0!}{(\rho-i)!(k_0-\rho+i)!} 2^{\rho} \sum \Pi_{k_j}^i \right]. \\ \sum_{\rho=1}^{k_0+n} S_{k_0+k_1+k_2+\dots+k_n}^{\rho} &= \left[3^{k_0} \prod_{j=1}^n (2k_j+1) \right] - 1. \end{aligned}$$

Здесь $S_{k_0+k_1+k_2+\dots+k_n}^{\rho}$ — число диссмодификаций (изомеров) из $k_0+k_1+k_2+\dots+k_n$ диссфакторов по ρ ($\rho=1, 2, 3, \dots, (k_0+n)$), $\sum \Pi_{k_j}^i$ — сумма всевозможных произведений из k_j по i ($j=1, 2, 3, \dots, n$; $i=0, 1, 2, 3, \dots, \rho$).

Тип II содержит бесконечное число подтипов и классов: $S_{k_0}^{\rho}$,

$$S_{k_0+k_1}^{\rho}, S_{k_0+k_1+k_2}^{\rho}, \dots, S_{k_0+k_1+k_2+\dots+k_n}^{\rho}$$

и другие. Соответственно для каждого случая $\rho=1 \div k_0$; $1 \div k_0+1$; $1 \div k_0+2$; ...; $1 \div k_0+n$, ... Каждому классу отвечают

бесконечные числа родов и видов диссизомерии. На изолированных, стерильно выращенных корнях гороха, томатов, клевера, томатно-цифомандрового гибрида, а также на венчиках и чашечках многих десятков видов растений нам удалось и экспериментально подтвердить существование одного из (бесчисленного множества!) подтипов II типа диссизомерии.

III тип диссизомерии — производный и также впервые рассматривается в этой работе. В этом случае первоначальной состав недиссимметрированного объекта после диссимметризации не изменяется; состав диссфакторов при всех возможных диссизомеризациях также не изменяется. Тип III содержит единственный класс и бесконечное число родов и видов, отвечающих этому классу. Формально-математически он описывается теми же уравнениями, что и тип I, но отличается от него по существу. Насколько нам известно, экспериментально изомерии типа III еще не обнаружены.

Понятно, что выделение трех типов диссизомерии автоматически приводит к необходимости выделения трех новых типов и диссиметро-недиссимметрической изомерии. Отличия этих типов последней изомерии друг от друга следуют по крайней мере из ее диссчасти. Руководствуясь соображениями симметрии, мы, по-видимому, обязаны выделить три типа и в случае недиссимметрической изомерии.

Второе направление. Новый путь для развития теории изомерии открывает констатация того тривиального факта, что правое и левое — частные случаи положительного и отрицательного. Данное обстоятельство позволяет предсказать существование антиизомерии со следующими классами.

1) «+», «-». В этом случае «положительные» (+) и «отрицательные» (-) изомеры существуют отдельно друг от друга. Диссизомерия — один из бесчисленного множества возможных видов этого класса. В качестве другой модели такой изомерии может быть взято множество «цепей» из k_0 звеньев. При этом предполагается, что: 1) каждое i -е звено есть сфера A_i в сфере B_i (AB) или наоборот — сфера B_i в сфере A_i (BA) ($i = 1, 2, 3, \dots, k_0$); 2) при изомеризациях — переходах одних изомеров в другие — A_i сфера может стать на место B_i , а B_i — на место A_i , сами же звенья местами (номера) меняться не могут. Теперь очень важно отметить, что данное множество изомерных цепей с точки зрения зеркального отражения будет относиться к недиссимметрической изомерии, так как каждая изомерная цепь при отражении в зеркале свою конфигурацию на противоположную не изменит. И тем не менее, как и в случае диссизомерии, общее число P таких изомеров-цепей будет $P_{k_0} = 2^{k_0}$; эти 2^{k_0} недиссимметрических изомеров также будут состоять из 2^{k_0-1} пар антиподов; по отношению к каждой паре антиподов остальные $2^{k_0-1} - 1$ пар также будут диастереоизомерны... Причина столь неожиданного единства диссимметрической и данной недиссимметрической изомерий в

следующем. Отношений противоположения — R не одно, а бесконечное множество: $R = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_\infty\}$. Будучи применены как основания для классификаций множества изомерных множеств они, вообще говоря, приведут к в той или иной мере различающимся классификациям последних. Одновременно мы видим, что явления существования антиподов и диастереоизомеров, которые ранее в химии связывали только с диссизомерией, в действительности отвечают более широкому классу объектов.

2) $(+, -)$. В этом случае каждый изомер сам себе противоположен и положительные формы не существуют отдельно от отрицательных. Недиссимметрическая изомерия — один из бесчисленного множества видов этого класса.

3) $[«+», -»$ и $(+, -)]$. В этом случае у одних изомеров имеются, у других не имеются отдельно существующие противоположные им формы. Диссиметро-недиссимметрическая изомерия — один из видов этого класса. Возможно также бесчисленное множество других видов.

От указанных трех новых классов можно перейти к более общим. Для их строгого рассмотрения примем следующие обозначения: k_0 — число различных частей изомера, назовем их условно «точками». В рассмотренной выше модели ее звенья суть «точки». B_j — это способная изомеризоваться j -тая вещь, свойство или отношение изомера ($j = 1, 2, 3, \dots, l$), l — число различных свойств; v_j — число различных изомерных состояний свойства B_j -го. В соответствии с обозначениями имеем следующее.

Кратную антиизомерию с классами: l « $+$, $-$ », $(l$ « $+$, $-$ »), $[l$ « $+$, $-$ » и $(l$ « $+$, $-$)]. У изомеров класса l « $+$, $-$ » ($l \geq 2$) k_1 их точек обладают свойством B_1 , k_2 — свойством B_2 , ..., k_l — свойством B_l ($k_1 + k_2 + \dots + k_l = k_0$). При этом каждое специфическое свойство B_j ($j = 1, 2, 3, \dots, l$) способно пребывать в одном из двух противоположных изомерных состояний — положительном ($+$) или отрицательном ($-$). Здесь, стало быть, $v_j = 2$. Очевидно, при $l = 1$ будем иметь « $+$, $-$ », или антиизомерию (противоположную изомерию). Далее изомеры класса $(l$ « $+$, $-$)» можно рассматривать как l -кратно вырожденные в отношении плюсов и минусов l различных B . Изомеры класса $[l$ « $+$, $-$ » и $(l$ « $+$, $-$)] в этом отношении вырождены лишь частично.

Цветную изомерию с классами: « $1, 2, 3, \dots, v$ », $(1, 2, 3, \dots, v)$, « $1, 2, 3, \dots, v$ » и $(1, 2, 3, \dots, v)$. У изомеров класса « $1, 2, 3, \dots, v$ » каждая из k_0 точек обладает свойством B_1 ($l = 1$), способным пребывать в одном из v ($v \geq 2$) изомерных состояний, именно — в 1-м, во 2-м, ... или в v -м. В качестве модели изомерии этого класса может быть взято множество тех же цепей из k_0 звеньев (точек), только каждое i -е звено в этом случае будет состоять из w различных сфер, способных при изомеризациях обмениваться местами. При таких условиях для каждого звена возможно $w!$ = v изомерных состояний. При этом общее число P изомеров-цепей из k_0 звеньев будет равно $P_{k_0} = (w!)^{k_0}$. Ясно, что

при $v = 2$ получим цветную изомерию с классами «1, 2», (1, 2) [«1, 2» и (1, 2)].

Цветную антиизомерию с классами: «+, —», «1, 2, 3, ..., v»; (+, —) (1, 2, 3, ..., v); [«+, —» «1, 2, 3, ..., v» и (+, —) (1, 2, 3, ..., v)]. У изомеров класса «+, —» «1, 2, 3, ..., v» k_1 их точек обладают свойством B_1 , способным пребывать в одном из 2-х (противоположных) изомерных состояний, а k_2 их точек обладают свойством B_2 , способным пребывать в одном из v изомерных состояний. Изомеры класса (+, —) (1, 2, 3, ..., v) в отношении этих состояний вырождены. Изомеры класса [«+, —» «1, 2, 3, ..., v» и (+, —) (1, 2, 3, ..., v)] в указанном отношении вырождены лишь частично.

Цветную кратную антиизомерию с классами: $(l - 1)$ «+, —» «1, 2, 3, ..., v»; $((l - 1) \text{ «+, —» } (1, 2, 3, \dots, v); [(l - 1) \text{ «+, —» } \langle 1, 2, 3, \dots, v \rangle \text{ и } ((l - 1) \text{ «+, —» } (1, 2, 3, \dots, v))]$. У изомеров класса $(l - 1)$ «+, —» «1, 2, 3, ..., v» k_1 их точек обладает свойством B_1 , k_2 — свойством B_2 , ..., k_{l-1} — свойством B_{l-1} и любое из этих $(l - 1)$ свойств способно при изомеризациях переходить в одно из двух состояний — «+» или «—». Кроме того, k_l точек этих же изомеров обладают свойством B_l , способным пребывать в одном из v_l изомерных состояний ($v_l \geq 2$). Природа изомеров остальных двух классов ясна из предыдущих разъяснений.

Кратную цветную изомерию с классами: $\langle i_1, i_2, \dots, i_l \rangle, (i_1, i_2, \dots, i_l), [i_1, i_2, \dots, i_l]$ и $(i_1, i_2, \dots, i_l)$ ($i_j = 1, 2, 3, \dots, v_j$; $j = 1, 2, 3, \dots, l$). У изомеров класса $\langle i_1, i_2, i_3, \dots, i_l \rangle$ k_1 их точек обладают свойством B_1 , k_2 — свойством B_2 , ..., k_l — свойством B_l . Каждое из B_j способно пребывать в одном из v_j ($j = 1, 2, 3, \dots, l$) изомерных состояний, причем любое из $v_j \geq 2$. Одной из моделей этого класса может быть множество цепей-изомеров из k_0 звеньев, каждое из которых состоит из $w_1, w_2, w_3, \dots, w_{k_0}$ сфер. Очевидно, для такого случая $P_{k_0} = w_1! \cdot w_2! \cdot w_3! \cdot \dots \cdot w_{k_0}! = \prod_{i=1}^{k_0} w_i!$. Понятно, что если

$w_j > 2$ и все w_j одинаковы, то последнее уравнение перейдет в $P_{k_0} = (w!)^{k_0}$. Если к тому же все $w_j = 2$, то в виде частного случая двух последних уравнений получим уже известную в стереохимии и в стереобиологии формулу $P_{k_0} = 2^{k_0}$.

Кратную цветную кратную антиизомерию с классами: l_1 «+, —» « $i_1, i_2, i_3, \dots, i_{l_2}$ »; $(l_1 \text{ «+, —» } (i_1, i_2, \dots, i_{l_2}), [l_1 \text{ «+, —» } \langle i_1, i_2, i_3, \dots, i_{l_2} \rangle \text{ и } (l_1 \text{ «+, —» } (i_1, i_2, \dots, i_{l_2}))]$. У изомеров первого из этих классов l различных свойств — $B_1, B_2, \dots, B_l$, из которых каждое из l_1 свойств ($l_1 \geq 2$) может пребывать лишь в одном из двух противоположных изомерных состояний, а остальные $l - l_1 = l_2$ ($l_2 \geq 2$) свойств — в одном из v_r ($v \geq 2, r = 1, 2, 3, \dots, l_2$) состояний. Изомеры второго и третьего классов в отношении указанных изомерных состояний соответственно полностью или частично вырождены.

Из всего сказанного видно, что самой общей является кратная цветная изомерия, из которой в зависимости от величины l и

и можно вывести в виде частных случаев приведенное и бесчисленное множество других обобщений изомерии.

В настоящее время нам удалось сильно продвинуть общую теорию изомерии за счет: 1) теоретического вывода по меньшей мере 54 типов изомерии; 2) развития представления о 4 основных — *временной, пространственной, динамической, субстанциональной* — и 15 или 64 (при различении порядка) основных и производных изомериях материи ($15 = \Sigma C_4^i$, $64 = \Sigma A_4^i$); 3) вывода из ОТС, используя понятие об операции изомерии, множества изученных, изучающихся и возможных (новых) **симметрий** — структурных и неструктурных (в числе 15 или 64). В частности, в виде одного из следствий ОТС мы получили *простые и кратные анти- и (или) цветные* — подоби́я, конформные, аффинные, проективные, круговые, топологические — *изомерии и симметрии*. Здесь же неожиданно для себя мы показали возможность развития теорий не только n -мерных ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$), но и $n_1 - n_2 - n_3 - \dots n_N$ -мерных анти-, цветных, подоби́я, ..., комбинированных изомерий и симметрий, до сих пор совершенно не известных науке ($n_i = n_j$ или $n_i \geq n_j$, $i \neq j$).

З а м е ч а н и е 3. Выше мы видели, что каждой из дисс-, дисс-адисс-, адиссизомерий присуще три типа. Представления о трех типах каждой изомерии, как показывают общие соображения, справедливы и для впервые установленных здесь изомерий. Аналогично — так или иначе — обобщаются и идеи об антиподах, диастереоизомерах и мезоморфах.

Третье направление. Т е о р е м а 3: *в системах, удовлетворяющих условию 3) замечания 2, должен иметь место полиморфизм изомерий — I, или II или того и другого рода.*

Д о к а з а т е л ь с т в о. Напомним, что композиции системы S , отвечающие условию 3), отличаются друг от друга по составу и (или) взаимоотношениям первичных элементов. Стало быть, математически такие композиции будут размещениями из $p^{(0)}$ первичных элементов по n ($n = b_1, b_2, b_3, \dots, b_r$ или, в частности, $n = 0, 1, 2, 3, \dots, p^{(0)}$). В общем случае число размещений A из $p^{(0)}$ элементов по n равно $A_{p^{(0)}}^n = C_{p^{(0)}}^n \cdot P_n$, где P_n — по-прежнему число всевозможных n -перестановок, а $C_{p^{(0)}}^n$ — число сочетаний из $p^{(0)}$ по n , иначе — число отличающихся по составу множеств n -перестановок. Но перестановка — это изомер, а множество n -перестановок, одинаковых по составу, — изомерия. Стало быть, на этом языке $C_{p^{(0)}}^n$ можно интерпретировать как число всевозможных изомерий, получающихся при всевозможных размещениях $p^{(0)}$ элементов по n . Таким образом, в системах, удовлетворяющих требованиям условия 3), действительно возникает явление многообразия, или полиморфизма изомерий, различающихся по составу, но одинаковых — с точки зрения их первичных элементов —

по принадлежности к одному и тому же множеству первичных элементов $M_s^{(0)}$. Теперь докажем, что полиморфизм изомерий может быть двоякого — I и II — рода.

Полиморфизм изомерий I рода — это явление существования множества изомерий при фиксированном n . Число изомерий σ_{b_j} ($j = 1, 2, 3, \dots, r$) при их полиморфизме I рода $\sigma_{b_j} = C_{p^{(0)}}^{b_j}$.

Пример 6. Пусть $A_{p^{(0)}}^n = C_{p^{(0)}}^n \times P_n$ представлено тривиальной формулой $A_{p^{(0)}}^n = \frac{p^{(0)}!}{n! (p^{(0)} - n)!} \cdot n! = \frac{p^{(0)}!}{(p^{(0)} - n)!}$ и пусть $p^{(0)} = 3$ (элементы a, b, c), $n = 2$. Тогда $A_3^2 = C_3^2 P_2 = 3 \cdot 2 = 6$ (размещения ab и ba, bc и cb, ac и ca), число изомерий $\sigma_2 = C_3^2 = 3$ (парам), само многообразие изомерий будет представлено видами AB (изомеры ab и ba), BC (изомеры bc и cb), AC (изомеры ac и ca).

Любопытно, что если бы $n = 1$, то $A_3^1 = C_3^1 \cdot P_1 = 3 \cdot 1 = 3$.

$\sigma_1 = C_3^1 = 3$ изомериям A, B, C . Здесь каждый изомер сам себе изомерен и не имеет, стало быть, отдельно существующей изомерной ему формы. В этом и только в этом смысле отсутствие изомерии — частный случай изомерии.

З а м е ч а н и е 4. Величине $p^{(0)}$ мы даем две интерпретации. В первом случае $p^{(0)}$ понимается, как в примере 6 ($p^{(0)} = 3$). Во втором случае $p^{(0)}$ рассматривается как величина, достаточная для реализации всех композиций по закону Z_i . В примере 6 величина так рассматриваемого $p^{(0)}$ равна уже не 3, а по крайней мере 12. В самом деле, нужно $4a, 4c, 4b$, чтобы составить все 6 размещений по 2. В рассмотренных в предыдущем параграфе примерах величины $p_i^{(0)}$ даны исходя из второй интерпретации $p^{(0)}$. Наконец, последнее полностью разъясняет смысл и доказывает действительную необходимость при построении систем условия (5) — достаточности.

Полиморфизм изомерий II рода — это явление существования множества изомерий при h из r различных n ($h = 0, 1, 2, 3, \dots, r$; $n = b_1, b_2, b_3, \dots, b_r$ или в частном случае $h = 0, 1, 2, 3, \dots, p^{(0)} + 1$; $n = 0, 1, 2, 3, \dots, p^{(0)}$). Очевидно, число возможных вариантов сопоставления χ_h r разных n по h $\chi_h = C_r^h$. В частности, $\chi_1 = C_r^1 = r$, $\chi_2 = C_r^2$, $\chi_r = C_r^r = 1$. Число возможных изомерий σ при h разных n ($n = a_1, a_2, a_3, \dots, a_h$) будет

$$\sigma_{a_1, a_2, \dots, a_h} = \sum_{i=1}^h C_{p^{(0)}}^{a_i}$$

Заметим, что для случая, когда $C_{p^{(0)}}^n = \frac{p^{(0)}!}{n! (p^{(0)} - n)!}$ и $n = 0, 1, 2, \dots, p^{(0)}$, $h = 0, 1, 2, \dots, p^{(0)} + 1$,

$$\sigma_{0, 1, 2, \dots, p^{(0)}} = C_{p^{(0)}}^3 + C_{p^{(0)}}^1 + C_{p^{(0)}}^2 + \dots + C_{p^{(0)}}^{p^{(0)}} = 2^{p^{(0)}},$$

$$\sigma_{1, 2, 3, \dots, p^{(0)}} = C_{p^{(0)}}^1 + C_{p^{(0)}}^2 + C_{p^{(0)}}^3 + \dots + C_{p^{(0)}}^{p^{(0)}} = 2^{p^{(0)}} - 1.$$

При этом замечательно также, что

$$C_{p^{(0)}}^0 + C_{p^{(0)}}^2 + C_{p^{(0)}}^4 + \dots + C_{p^{(0)}}^{2n} = C_{p^{(0)}}^1 + C_{p^{(0)}}^3 + C_{p^{(0)}}^5 + \dots + C_{p^{(0)}}^{2n+1} = 2^{p^{(0)}-1}.$$

Пример 7. Пусть по-прежнему $A_{p^{(0)}}^n = p^{(0)!}/(p^{(0)} - n)!$, $p^{(0)} = 3$, $n = 1, 2, 3$. Тогда число возможных сопоставлений при $h = 1$ будет $C_3^1 = 3$, $h = 2$, $C_3^2 = 3$, $h = 3$, $C_3^3 = 1$; σ при $h = 2$, например при $n = 2, 3$, будет $\sigma_{2,3} = C_3^2 + C_3^3 = 3 + 1 = 4$ и многообразие изомерий II рода будет представлено видами AB , BC , AC , ABC .

Сравнивая полиморфизмы изомерий I и II рода, следует различать их формальную интерпретацию от содержательной.

При формальной их интерпретации мы обязаны полиморфизм изомерий I рода рассматривать как частный случай полиморфизма изомерий II рода, так как h может быть равен и 1. Кроме того, случай, когда $h = 1$ и $\sigma = 1$ формально мы также должны рассматривать как пример полиморфизма.

При содержательной же их интерпретации мы обязаны за полиморфизм I рода считать те и только те случаи, когда $h = 1$ и $\sigma_{b_j} > 1$; за полиморфизм II рода — те и только те случаи, когда $p \geq h \geq 2$, $\sigma \geq 2$. Понятно, что при содержательной интерпретации I род не содержится во II роде.

В соответствии с содержательной интерпретацией допустимы следующие случаи *вырождения* многообразия изомерий. а) Имеет место только полиморфизм изомерий I рода. В примере 7, скажем, могут быть разрешены лишь комбинации ab и ba , ac и ca , bc и cb или, по меньшей мере, любые две изомерии из трех приведенных. б) Имеет место только полиморфизм изомерий II рода. В том же примере 7 разрешенными могут быть лишь изомерии ab , ba и все или часть (не меньше двух) размещений из трех по три (типа abc , cba , ...). в) Имеют место лишь размещения из трех по три — здесь нет многообразия изомерий ни I, ни II рода. В примере 7 разрешенными могут быть, скажем, все или часть ($6 \geq A_3^3 \geq 2$) размещений из трех по три.

Понятно, что комбинированием указанных вариантов — а) и б), а) и в) может быть получен невырожденный случай многообразия изомерий — сразу I и II родов. Ясно, однако, что при любом способе удовлетворения требованиям условия 3) замечания 2 системы, отвечающие им, необходимо будут характеризоваться полиморфизмом изомерий либо I, либо II, либо I и II родов. Теорема 3 доказана.

Следуя теореме 3, можно предсказать широкое распространение явления полиморфизма изомерий в живой, неживой, социальной природе.

Дальнейшее изучение рассматриваемой проблемы логически подводит к серьезным вопросам об основных законах числа, строения, видов, частот встречаемости, характера статистик, свойств, причин полиморфизма изомерий. К сожалению, ни в математике, ни в химии, ни в физике, ни тем более в теории систем полиморфизм изомерий специально не изучался, хотя на их объектах он явно и обнаруживается. Что касается биологии, то такая работа в ней только начата. В соответствии с теоретическим ожиданием полиморфизм изомерий II рода нами обнаружен на венчиках гравилата речного, чубушника душистого, абрикоса обыкновенного, морозника красноватого, вишни обыкновенной в связи с варьированием у них числа лепестков (или листочков простого околоцветника у морозника красноватого). При этом венчикам с четным числом лепестков была присуща диссимметро-адиссимметрическая, с нечетным — диссимметрическая изомерия. Поэтому уменьшение или увеличение числа лепестков одновременно приводило к изменению классов их изомерии и симметрии.

Четвертое направление развития общей теории изомерии только возникает. Оно связано, по меньшей мере, с двумя задачами. Во-первых, с задачей о закономерностях всех возможных точечных, линейных, плоских, пространственных и вообще n -мерных разбиений множества (композиций) на подмножества. Решение этой задачи позволит, в частности, получить своеобразный перечень необходимых и достаточных условий существования закономерностей, свойств, способов наилучшего воспроизведения и специфических систем — изомерных, иерархических, периодических и т. д. Во-вторых, данное направление связано с задачей выражения различных симметрий — кристаллографических, динамических, геометрических инвариантов и соответствующих им групп автоморфизмов (т. е. одно-однозначных отображений данного множества на себя) — на языке теорий соответствующих изомерий. И первое и второе позволят связать теорию изомерии и ОТС с фундаментальными областями математики и естествознания.

Закон соответствия

Логически полиморфизм мы обязаны дополнить изоморфизмом.

О п р е д е л е н и е. Если каждому элементу « a » множества A по некоторому закону поставлен в соответствие один и только один элемент « b » множества B и если при этом каждому $b \in B$ окажется поставленным в соответствие один и только один элемент $a \in A$, то между элементами множеств A и B установлено взаимно одно-однозначное соответствие, или изоморфизм. Таким

образом, в основе изоморфизма лежат доматематические понятия *соответствия и множества*. Если между элементами двух множеств A и B , не обязательно различных, можно установить хотя бы по одному какому-либо закону взаимное одно-однозначное соответствие, то такие множества называются *эквивалентными*, или *имеющими одинаковую мощность*.

Теорема 4. *Между любыми двумя системами S_1 и S_2 возможны соотношения лишь следующих четырех видов:*

- 1) S_1 и S_2 эквивалентны.
- 2) $B S_1$ есть собственная часть, эквивалентная S_2 , и в S_2 есть собственная часть, эквивалентная S_1 .
- 3) $B S_1$ есть собственная часть, эквивалентная S_2 , но в S_2 нет собственной части, эквивалентной S_1 .
- 4) $B S_2$ есть собственная часть, эквивалентная S_1 , но в S_1 нет собственной части, эквивалентной S_2 .

С л е д с т в и е. Соотношение 5) такое, что в S_1 нет части, эквивалентной S_2 , и в S_2 нет части, эквивалентной S_1 , невозможно.

Д о к а з а т е л ь с т в о. Любая система, по определению, есть i -тое множество композиций M_i со своими $p_i^{(0)}$, $a_i^{(0)}$, Z_i . В теории же множеств (см., например, [1], [4]) на основании аксиомы выбора Цермело теорема 4 доказана для любых множеств, стало быть, и для систем. По-видимому, стоит заметить, что согласно теореме Кантора-Бернштейна — «Если каждое из двух данных множеств эквивалентно части другого, то данные множества эквивалентны» — случай 2) сводится к случаю 1). Отсюда, кстати сказать, сразу следует несовместимость случаев 1), 3), 4), а тем самым и несовместимость соотношений $m_1 = m_2$, $m_1 > m_2$, $m_1 < m_2$, где m_1 , m_2 — мощности соответственно S_1 и S_2 .

Обращаем внимание читателей на ту естественность и простоту, с какой идея различных соответствий — одно-одно-, одно-много-, много-многозначных — необходимо следует при развертывании нашего варианта ОТС. По изложенным для теорем 1 и 2 причинам теореме 4 мы также рассматриваем как закон — *закон соответствия*. Последний позволил увидеть, проанализировать, обобщить, а в известной мере и объяснить огромное количество фактов различных параллелизмов, соответствий в Природе. Его примеры: 1) взаимный параллелизм всех рассмотренных в § 3 систем, стандартных по их построению, иначе — подчинению одному и тому же определению системы; 2) параллелизм свойств различных рядов химических элементов, прямо выраженный законом *периодической* зависимости свойств химических элементов от величины зарядов их атомных ядер; 3) взаимный параллелизм свойств различных гомологических рядов молекул, а также организмов (закон гомологических рядов наследственной изменчивости Н. И. Вавилова) и их «частей» — тканей (закон А. А. Заварзина), ультраструктур клеток, фило- и онтогенетических рядов развития организмов; 4) изоморфизм различных научных теорий. Наличие параллелизмов в Природе, обществе и мышле-

нии отмечается и философами в учении о законе отрицания отрицания.

Стоит отметить, что законы Н. И. Вавилова и А. А. Заварзина легко выводятся в рамках ОТС, причем аналогичные закономерности должны наблюдаться у любых объектов — живых и неживых.

Т е о р е м а 5. *Между любыми системами S_1 и S_2 возможна по меньшей мере одна из четырех следующих симметрий:*

1) S_1 и S_2 симметричны.

2) В S_1 есть собственная часть, симметричная S_2 , а в S_2 есть собственная часть, симметричная S_1 .

3) В S_1 есть собственная часть, симметричная S_2 , в S_2 нет собственной части, симметричной S_1 .

4) В S_2 есть собственная часть, симметричная S_1 , в S_1 нет собственной части, симметричной S_2 .

С л е д с т в и е. *Соотношение 5) такое, что в S_1 нет части симметричной S_2 , а в S_2 нет части, симметричной S_1 , невозможно.*

Д о к а з а т е л ь с т в о. Совокупность изоморфных соответствий образует математическую группу. Следовательно, для любых систем S_1 и S_2 возможна по меньшей мере одна из трех симметрий — 1), 3), 4) — со следующей группой преобразований, которая (1) содержит тождественное отображение E , переводящее каждый элемент $k \in S$ в себя; (2) для каждого отображения I содержит ему обратное I^{-1} ; (3) вместе с каждой парой преобразований I, T содержит и их «произведение» IT . Заметим, что эти три утверждения в соответствии с определением группы эквивалентны трем следующим: (1) каждая система (множество) S эквивалентна самой себе: $S \sim S$; (2) если $S_1 \sim S_2$, то $S_2 \sim S_1$; (3) если $S_1 \sim S_2$ и $S_2 \sim S_3$, то $S_1 \sim S_3$. Таким образом, симметрии отмеченных выше трех типов описываются группой отображений, переводящих S в себя.

Что касается случая 2), то он не имеет самостоятельного значения, так как по теореме эквивалентности Кантора — Бернштейна он сводится к случаю 1. Наконец, невозможность отсутствия симметрии между любыми двумя системами S_1 и S_2 следует из невозможности отсутствия между ними какого бы то ни было изоморфизма.

З а м е ч а н и е 5. Алгебраические свойства двух изоморфных систем (множеств) можно считать одинаковыми: если закон Z_1 коммутативен на S_1 , то закон Z_2 коммутативен на S_2 ; если для каждой композиции $k \in S_1$ существует симметричная композиция относительно закона Z_1 , то и для каждой композиции $k' \in S_2$, соответствующей k , существует симметричная относительно закона Z_2 композиция. Таким образом, две изоморфные системы представляют собой два конкретных примера одной и той же структуры.

З а м е ч а н и е 6. *Изоморфизм называется автоморфизмом, когда он является взаимно однозначным отображением S в себя.* Автоморфизмы системы со вполне определенной структурой образуют группу. Перестановки суть не что иное, как взаимно однозначные отображения S в себя. **Общая проблема относительности в физике и математике состоит не в чем ином, как в нахождении группы автоморфизмов.** Отсюда и следуют задачи, поставленные Германом Вейлем: «всегда, когда вы имеете дело с многообразием, наделенным структурой, изучайте группу его автоморфизмов». Заслуживает внимания также и обратная задача, которую подчеркнул Феликс Клейн в своей знаменитой Эрлангенской программе (1872): «дана группа преобразований многообразия σ , определить такие отношения или операции, которые инвариантны по отношению к этой группе» [7].

Из теорем 1, 4, 5 следует необходимость подчинения любых форм движения и видов материи (систем) не только всеобщим, но и специфическим законам сохранения, определенным константам типа $\hbar$, c , ..., другим инвариантным требованиям. Так строго математически доказывается положение, которое иным, философским путем вывел известный советский философ Н. Ф. Овчинников в своем глубоком исследовании «Принципы сохранения» (конец 1966 г.) [11]. При изучении таутомерных переходов изомеров венчиков многих видов растений мы обнаружили и первый биологический закон сохранения, хотя и очень частный (подробнее см. в [16—18]).

Подведем итоги. Пять выбранных нами аксиоматических условий позволили: I) Определить систему S — как i -ое множество композиций M_i , построенное по отношению R_i , закону композиции Z_i из первичных элементов множества $M_i^{(0)}$, выделенных по основанию $A_i^{(0)}$ из множества M . II) Доказать теоремы — (1) о том, что любой объект — полисистемный и n -кратно полиморфичный; (2) о том, что в системах, композиции которых различаются лишь по взаимоотношениям их элементов, должна иметь место изомерия; (3) о том, что в системах, композиции которых различаются по составу и (или) отношениям между первичными элементами, должен иметь место полиморфизм изомерий I и (или) II рода; (4) и (5)) о том, что между любыми двумя системами S_1 и S_2 должен иметь место изоморфизм (и симметрия) одного из 4-х видов; соотношение 5) такое, что в S_1 нет части, изоморфной (и симметричной) S_2 , а в S_2 нет части, изоморфной (и симметричной) S_1 , такое соотношение невозможно. III) Предложить учения о поли- и изоморфизме, изомерии, предсказать новые типы и классы изомерии. IV) Поставить вопросы о закономерностях таких n -мерных ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$) разбиений множества композиций на подмножества, которые бы наилучшим образом отражали свойства M_i .

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Александров П. С. Введение в общую теорию множеств и функций. М., 1948.
2. Берталанди Л. фон. Общая теория систем: критический обзор.— «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
3. Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Системный подход в современной науке.— «Проблемы методологии системного исследования». М., 1970.
4. Бурбаки Н. Теория множеств. М., 1965.
5. Вавилов Н. И. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости.— «Избранные сочинения». М., 1966.
6. Вейль Г. Симметрия. М., 1968.
7. Вейль Г. Полвека математики. М., 1969.
8. Догель В. А. Олигомеризация гомологичных органов как один из главных путей эволюции животных. 1954.
9. Кренке М. П. Морфогенетическая изменчивость, т. 1. М., 1933—1935.
10. Месарович М. Основания общей теории систем.— «Общая теория систем». М., 1966.
11. Овчинников Н. Ф. Принципы сохранения. М., 1966.
12. «Проблемы формального анализа систем». М., 1968.
13. Урманцев Ю. А. О философском и естественнонаучном значении некоторых проявлений правизны и левизны в живой природе.— «О сущности жизни». М., 1964.
14. Урманцев Ю. А. Золотое сечение.— «Природа», 1968, № 11.
15. Урманцев Ю. А. Поли- и изоморфизм в живой и неживой природе.— «Вопросы философии», 1968, № 12.
16. Урманцев Ю. А. Изомерия в живой природе. I. Теория.— «Ботанический журнал», 1970, № 2.
17. Каден Н. Н., Урманцев Ю. А. Изомерия в живой природе. II. Результаты исследований.— «Ботанический журнал», 1971, № 2.
18. Урманцев Ю. А., Каден Н. Н. Изомерия в живой природе. III. С-, К-изомерия и биосимметрия. — «Ботанический журнал», 1971, № 8.

ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ СИСТЕМ К АНАЛИЗУ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ И К ИСТОРИИ НАУКИ И ТЕХНИКИ

ΤΟ ΔΑΙΔΑΛΟ ΠΤΕΡΟ *

(К ПОЗНАНИЮ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА)

Г. Н. ПОВАРОВ

Человек, слуга и истолкователь Природы, столько совершает и понимает, сколько постиг в порядке Природы делом или размышлением, и свыше этого он не знает и не может.

Ф. Бэкон

Введение

Поразительные завоевания современной науки и техники все острее ставят перед нами задачу познания и предвидения путей научно-технического прогресса. Речь идет не только об оценке тех или иных частных достижений, но и о раскрытии закономерностей и тенденций этого замечательного движения, которое сделало человека повелителем родной планеты и ныне увлекает его в космические просторы. Мы нуждаемся в отдельной, самостоятельной науке о научно-техническом прогрессе как последовательном расширении нашей власти над природой. Такая дисциплина только складывается, хотя о вопросах, в нее входящих, размышляли еще Лукреций Кар и Фрэнсис Бэкон Веруламский. Традиционная история науки и техники преследует преимущественно описательные цели.

Настоящая статья представляет собою опыт общего внутреннего анализа научно-технического прогресса с точки зрения теории систем. Можно ожидать, что абстрактный системный подход, с его широтой и лаконизмом, облегчит целостную трактовку предмета. Правда, теория систем сама находится *in statu nascendi* и поэтому есть орудие грубое и не вполне надежное, однако мы вправе видеть в ней хотя бы источник гипотез.

Идея системного подхода к истории науки и техники впервые возникла у меня в 1961 г. В предисловии к русскому переводу

* Το Daidálo pteró — Дедаловы крылья (греч.).

книги Г. Х. Гуда и Р. Э. Макола [17] я наметил схему последовательных уровней сложности, через которые проходит развитие техники [33, стр. 6—7]. Этот принцип естественно было распространить и на развитие науки. Позже я внес в эту схему ряд уточнений, и в 1963 г. работа была в основных чертах завершена и составила содержание лекции, прочитанной мною в секции кибернетики Научно-технического общества радиотехники и электросвязи им. А. С. Попова (декабрь 1963 г., Политехнический музей в Москве)*. В настоящей работе в целом я сохраняю схему, с которой выступал в 1963 г., но считаю ее лишь первым приближением к действительности, требующим поправок и уточнений. Проверка ее сопряжена с обширными историческими изысканиями, а системный аппарат требует дальнейшей шлифовки. Таким образом, речь идет более о постановке вопросов, нежели об окончательных ответах.

Рождающейся науке о научно-техническом прогрессе необходимо имя. Как обычно, возникает мысль искать его в сокровищнице древних языков. Со своей стороны, я решаюсь назвать эту новую отрасль знания дедалогией — «наукой о дедаловском», в память легендарного первоученого Эллады**. О Дедале вспоминал и Холдэйн в своей блестящей речи о будущем науки [50], рисуя родовой образ исследователя природы. Наше направление может быть тогда обозначено как системная дедалогия.

Теория систем еще не обрела законченных форм, не сведена к единому твердому канону. Мы исходим из общего комплекса существующих идей. Читатель может обратиться к таким сочинениям, как [12], [16], [17], [47], [59]; впрочем, необходимые понятия будут вводиться по ходу изложения. Следует отметить вклад, внесенный в теорию систем кибернетиками, но ее можно считать особым, более общим учением***. Что касается определения системы, то я беру простейшее, указанное в толковом словаре С. И. Ожегова: нечто целое, представляющее собою единство закономерно расположенных и действующих во взаимной связи частей.

Под внутренним анализом научно-технического прогресса разумеется анализ его автономных тенденций, в отличие от разбора его человеческих и социальных факторов. Это чрезвычайно важная, но часто пренебрегаемая область исследований. Действительно, естественные науки и техника, будучи продуктом историче-

* См. также тезисы [34] [36] [37].

** От *δαίδαλος* — дедаловский. «Дедаловский» означало также «искусный, мастерской, сложный», и это переносное значение равным образом легко включается в идею «науки о дедаловском». Термин «науковедение» (или «сциенциология», см. [19]) кажется менее подходящим для наших целей, поскольку мы обсуждаем не только научное, но и техническое творчество.

*** Ср. [24], [30], [39]. По существу теория систем есть теория математическая, хотя она еще не охвачена строгой аксиоматикой и во многом опирается на интуицию и индукцию. Но такова ли, однако, была юность арифметики и геометрии?

ской жизни народов, вместе с тем обладают известной автономией, известным самодвижением, диктуемым собственной их логикой. Последовательность шагов в познании и покорении природы определяется в конечном счете самой природой, объективной связью ее явлений и законов, хотя исполнение каждого шага зависит от общественных отношений эпохи.

Впрочем, научно-технический прогресс со временем изменяет и эти отношения, «поощряя» общества передовые и «наказывая» отсталые. Бурные события XX в., великое соревнование социальных систем, ныне происходящее, наглядно показывают значение научно-технического потенциала для экономики и политики. Изучение динамики этого потенциала кажется хорошей стратегией*.

В настоящей статье рассматривается только развитие естествознания и техники, дающих власть над природой. История общественных наук неотделима от истории общества и составляет отдельную тему, хотя системный подход, по-видимому, применим в какой-то мере и к ней.

Стадии научно-технического прогресса

Естествознание изучает различные природные системы и происходящие в них процессы, техника создает новые системы с нужными нам процессами. Развитие науки и техники ведет к тому, что сложность познаваемых и создаваемых систем возрастает, что мы понимаем и строим все более сложные системы. В этом росте системной сложности науки и техники, несомненно, следует видеть одну из важнейших закономерностей научно-технического прогресса. Конечно, человек настойчиво борется со сложностью, ищет простейших, а потому легчайших решений, но, если посмотреть внимательнее, упрощение допускает только мнимая, кажущаяся сложность.

Итак, чем глубже мы проникаем в тайны природы, тем сложнее наша наука и техника. Это внушает мысль измерять развитие науки и техники средним уровнем сложности фигурирующих в них систем. Средний уровень сложности познаваемых и создаваемых систем может рассматриваться как мерило власти человека над природой, обобщенный показатель состояния науки и техники в данное время. Этот постулат и положен в основу исследования.

Рост сложности систем выражается, во-первых, в увеличении числа элементов системы и, во-вторых, в возникновении между элементами все более разнообразных и протяженных связей, все

* Вопросы взаимодействия научно-технического и общественного прогресса обсуждаются во многих работах, например, в [4], [29], [31], [40]. Напомним, что, по мысли Маркса, в конечном счете именно перемены в технике, в средствах труда оказываются решающими. «Средства труда не только мерило развития человеческой рабочей силы, но и показатель тех общественных отношений, при которых совершается труд» [28, стр. 191].

более тонкого и гибкого взаимодействия. К сожалению, мы еще не располагаем удобным математическим критерием этой сложности, однако, в ожидании лучшего, можно попытаться индуктивным обобщением построить хотя бы предварительную, грубую шкалу для общей ориентации. Иными словами, дедалогия вправе на первых порах избрать те же методы, какими пользовались в аналогичных обстоятельствах другие дисциплины, еще слишком смутные для математизации. Это путь индуктивного синтеза, вырастающего из анализа и, в свою очередь, служащего ему основанием.

С этой точки зрения историю науки и техники можно, по-видимому, разбить на следующие большие стадии, большие эпохи:

1) стадию малых, или простых, предметов, когда человек стал выделять в окружающей среде отдельные, цельные предметы и использовать их для кратковременного воздействия друг на друга, создав каменные ручные орудия (начальный период — ранний и средний палеолит, зрелый период — поздний палеолит);

2) стадию превращающихся предметов, когда человек овладел естественными превращениями цельных предметов друг в друга, сделался земледельцем, пастухом и гончаром (начальный период — мезолит и ранний неолит, зрелый период — поздний неолит, после «неолитической революции», т. е. после распространения земледелия и скотоводства);

3) стадию больших, или сложных предметов, когда человек научился соединять цельные предметы друг с другом жесткими, постоянными связями, создавая крупные сооружения — здания, плотины, корабли, и постиг идею организованного целого (начальный период — энеолит древней Европы и древнего Востока до «городской революции», зрелый период — высокие цивилизации древности и Средних веков);

4) стадию малых, или простых систем, когда человек научился создавать механизмы и машины — системы с относительно небольшим числом элементов, взаимодействующих строго определенным, детерминированным образом, — и находить такие машиноподобные системы в природе (начальный период — эпоха мануфактурного производства XV—XVIII вв., зрелый период — от «I промышленной» революции до конца XIX в.);

5) стадию больших, или сложных систем, когда человек приступил к познанию и созданию систем с весьма большим числом элементов, взаимодействующих массово, случайно, стохастически, т. е. по законам вероятности (начальный период — первая половина XX в., эпоха становления массового производства и стохастического естествознания; зрелый период еще впереди, но эпоха после II мировой войны, когда развернулась комплексная автоматизация производства, уже представляет собою переход к зрелости, «II промышленную» революцию).

Слово «наука» здесь употреблено в весьма широком смысле, как синоним знания вообще. Это и скромные знания первобыт-

ных людей («первобытная наука»), и развитая, критическая наука в современном понимании, и все промежуточные состояния. Следует, однако, помнить, что мы говорим только о естественных и технических науках.

Начальный период — время приближения к типичному уровню сложности данной эпохи; рубеж между начальным и зрелым периодом представляет собою решающий скачок сложности, научно-техническую — или, как мы скажем, дедалогическую — революцию глобального масштаба. Эти революции служат объективными вехами нашего деления. Они знаменуют резкий подъем могущества человека, резкое увеличение объема материального производства, создающее, в свою очередь, предпосылки для значительного увеличения численности человечества и плотности его расселения. Напротив, границы стадии плавны и размыты, зрелый период одной стадии постепенно переходит в начальный период другой.

Археологи ([1], [23], [53]) дружно констатируют резкий скачок в развитии первобытной культуры на рубеже между средним и поздним палеолитом (т. е. между эпохами мустье и ориньяка). Не менее выразителен и переход к земледелию и скотоводству («неолитическая революция»), и так называемая «городская революция» — возникновение городов как центров ремесла и торговли ([53], [54]). За ними следуют две промышленные революции*.

В духовном, познавательном плане палеолитический скачок означал окончательное формирование человеческой способности к мышлению; именно в этот момент появляется *Homo sapiens* как последний продукт антропогенеза. Стадия превращающихся предметов была эпохой развития первых абстрактных форм мысли — мифа и поэзии, пропитывающих собою первобытную науку. Городской революции соответствует изобретение письменности и появление первых научных теорий, собирающих и упорядочивающих эмпирические знания; это эпоха рождения «любви к мудрости» — философии, которая в древности обнимала все знание о мире. Наконец, с I промышленной революцией можно сопоставить I научную революцию — рождение классического детерминистического естествознания (Галилей, Декарт, Ньютон), а с ныне происходящей II промышленной — II научную, вызванную переходом к стохастическим воззрениям (Бор, Гейзенберг, Винер и др.).

Заметим, что, ввиду известных различий в темпах развития науки и техники, научная революция стадии и ее техническая революция не обязательно совпадают хронологически, хотя они,

* Термины «городская революция» и «промышленные революции» здесь употребляются исключительно для обозначения технических переворотов. Другой вопрос — социальные перемены, сопутствовавшие этим переворотам или обусловившие их. Возможно, в дедалогии было бы лучше говорить не о промышленных, а о технологических революциях.

несомненно, связаны друг с другом и могут рассматриваться как две составляющие одного переворота. Так, I научная революция происходила в XV—XVII вв., а I промышленная — в конце XVIII и начале XIX в. В общей схеме мы ориентировались на технические революции, ибо в них ярче всего выражается рост человеческого могущества.

Первые три стадии можно объединить в эру предметов, или несобственных систем, остальные — в эру динамических, или собственных систем.

Так мы получаем некоторую естественную внутреннюю периодизацию эволюции науки и техники. Системный подход, в отличие от других, более частных подходов (энергетического, информационного и т. д.), позволяет охватить весь процесс в целом. Мы наблюдаем закономерное распространение власти человека на все более сложные и обширные области действительности. Правда, пока это предварительная, во многом идеализированная схема. Требуется уточнение критериев и границ, подробный разбор исторических фактов. Стоит подумать о дальнейшем членении шкалы. И, разумеется, необходима более глубокая разработка самой теории систем!

Тем не менее в первом приближении мы имеем определенную целостную картину, определенную последовательность ступеней, которая обладает своей логикой и, как увидим, допускает стройное продолжение в будущее. Эта схема восхождения по лестнице системной сложности может рассматриваться как общая модель внутреннего течения научно-технического прогресса. Понятно, что хронология наступления стадий зависела от конкретных исторических обстоятельств и объяснима только из них, но сами стадии суть последовательные фазы нашего завоевания природы, обусловленные строением мировой материи. Можно предположить, что они неизбежно осуществлялись бы и при другом ходе истории, хотя, наверное, с другими частностями*.

Более подробное исследование должно учесть тонкую структуру картины. Во-первых, нельзя забывать о неравномерности культурного развития разных обществ. Так, например, еще в начале XIX в. на обширных пространствах Австралии, Южной Африки

* Читатель заметит определенное соответствие между нашими стадиями научно-технического прогресса и установленными исторической наукой социально-экономическими формациями. Так, двум первым стадиям соответствует первобытное общество (с двумя ступенями: дикостью и варварством), а третьей стадии — общества, основанные на прямом принуждении (рабовладельческое, феодальное, «азиатское» — все они, по существу, близки друг к другу); далее, очевидны связи между стадией малых систем и эпохой капитализма и между начавшейся стадией больших систем и эпохой социализма и коммунизма. Конечно, этот параллелизм не случаен, в нем выражается взаимодействие и взаимозависимость научно-технического и общественного прогресса. Однако соответствие здесь не механическое и отнюдь не исключает сдвигов, разрывов, наклонений. Можно поставить вопрос о системной сложности обществ различных формаций сравнительно с системной сложностью науки и техники (кажется в общем, что первая сложность на уровень выше второй [34]).

и Южной Америки сохранялась палеолитическая культура — техника малых предметов. Приведенная выше схема отнесена к главному, с сегодняшней точки зрения, потоку развития, прошедшему по богатым землям Эгеиды и Передней Азии, а затем усилиями греческого и римского гения направленному в Европу. Другие потоки, более медлительные, тоже нуждаются в своем исследовании.

Далее, открытия и изобретения данного уровня сложности являются человеку не все вдруг, но в сложной, многоэтапной последовательности, одни намного раньше других, пока их не накопится достаточно для очередной дедалогической революции. Отсюда проблема наложений и совмещений. Так, на стадию малых предметов падает одно из важнейших изобретений техники превращающихся предметов — завоевание огня. Многие считают это знаменательное событие, относящееся к раннему палеолиту (ашель), такой же переломной точкой научно-технического прогресса, как возникновение земледелия и скотоводства или строительство больших сооружений.

Мы судили иначе, связывая дедалогические революции с общим уровнем сложности культуры, с системным обликом эпохи.

Подобно этому, наука и техника древних греков и римлян (зрелый период стадии больших предметов) содержит развитой слой малых систем; сошлемся хотя бы на античную астрономию и механику. Можно думать даже, что в александрийскую эпоху греки приближались к начальному периоду стадии малых систем или вступали в него, но не удержались на достигнутой высоте.

Для полноты к этим пяти стадиям можно еще добавить нулевую ступень — стадию единого, или простого, целого, соответствующую отношению к окружающему миру животных предков человека. Хотя у высших млекопитающих подмечают некоторые способности к выделению предметов, кажется, однако, справедливым, что животное противостоит среде как целому и воспринимает ее прежде всего как целое, как единый комплекс раздражителей. Конечно, оно отличает одни раздражения от других и тем самым по-своему анализирует наличную обстановку, но, по-видимому, оно не расчленяет окружающего на определенные предметы или делает это лишь в очень слабой мере ([10], [18], [63]). В результате животное не имеет власти над средой, но может к ней приспособляться.

Революцией этой стадии можно считать возникновение (около 3,5 млрд. лет тому назад [41]) организмов современного типа, использующих фотосинтез и его продукты. Лишь после этого жизнь на Земле вступила в полосу мощного развития и оставила заметные геологические следы. Стадию единого целого следовало бы, по-видимому, рассматривать как отдельную эру.

Уровни системной сложности и множественность системных образов вещей

Итак, мы выделили пять — а с нулевой стадией шесть — последовательных уровней системной сложности. Однако в предыдущем очерке они были обрисованы весьма бегло и кратко.

Теперь мы попытаемся уточнить и пояснить введенные определения.

Низшие уровни сложности, после недифференцированного единого целого, представлены единичными, цельными предметами. Это прежде всего твердые тела, но также тела пластические, жидкие, воздушные (огонь), насколько они поддаются обособлению. Подобные цельные предметы суть простейшие мыслимые системы, системы из одного-единственного элемента; их уместно называть несобственными системами, в отличие от собственных, многоэлементных систем. Единое целое — также несобственная система, но неограниченная, не имеющая окружения.

Малые, или простые, предметы можно определить как независимые цельные предметы, вступающие друг с другом в кратковременные, эпизодические контакты; таковы каменные и костяные орудия первобытных людей (рубила, скребки, резцы и т. д.), такова и добываемая с их помощью пища. Превращающиеся предметы суть цельные предметы, способные к превращениям в другие цельные предметы: дерево вспыхивает огнем, семя становится растением, обожженная глина обретает твердость и т. д. К технике превращающихся предметов можно отнести и раннюю металлургию, хотя исторически она возникает только на стадии больших предметов.

Интересно отметить, что исследователи первобытного мышления подчеркивают его неумение четко отличать часть от целого, постоянное смешение им этих категорий ([25], [27]). Дело, видимо, не в нарочитом безразличии к логике, а в отсутствии надлежащих понятий, еще не выработанных опытом. Не удивительно, что такое мышление оказывается метафорическим, поэтическим.

Большие, или сложные предметы составляют своего рода переходное звено между несобственными и собственными системами. Это предметы, образованные жесткими соединениями малых (простых) предметов. Таковы всевозможные составные орудия, ткани, различные сооружения и т. п. Зачатки их появляются очень рано, но лишь на стадии больших предметов мы обнаруживаем подлинно крупные сооружения — неподвижные (здания, мосты, плотины и пр.) и подвижные (повозки, корабли).

Большие предметы — системы многоэлементные, но статические, с постоянными, неизменными связями элементов, благодаря чему они остаются внешне подобными цельным предметам и как бы заменяют их. В итоге мы решаемся отнести большие предметы к несобственным системам, как указано в предыдущем разделе. Однако на стадии больших предметов человек посте-

пенно усваивает разницу между частью и целым и даже доходит до идеи последних, неделимых частей—атомов (Демокрит).

Два следующих уровня представлены динамическими системами, которые мы рассматриваем как системы собственные, системы *par excellence*. Под динамической системой здесь разумеется система из многих элементов, связанных непостоянными, изменяющимися отношениями. Элементы эти могут перемещаться в пространстве друг относительно друга или, будучи неподвижны, обмениваться энергетическими и информационными воздействиями. В обоих случаях система существенно отличается от предмета наличием внутренней структуры и внутренних процессов, которыми нельзя пренебречь.

Малые, или простые системы — это системы с вполне определенным (детерминированным) взаимодействием элементов, число которых сравнительно невелико, например порядка 10^1 — 10^3 , и позволяет проследить их поведение во всех подробностях. Текущее состояние системы и окружения однозначно определяет следующее состояние системы. Классические паровые и электрические машины и машинообразные системы классической физики дают примеры подобного детерминизма. В частности, типичным образчиком малых систем была, вопреки своим размерам, Солнечная система — небесный прообраз часов.

Если число элементов в системе имеет порядок 10^4 — 10^7 и они связаны между собою массовым, случайным, колеблющимся взаимодействием, то перед нами большая, или сложная система. Большие системы — системы вероятностные, стохастические. Мы не можем или не умеем проследить и предсказать поведение каждого элемента такой системы, но с помощью теории вероятностей способны оценить массовый, совокупный эффект; текущее состояние системы и окружения определяет вероятность следующего состояния системы. Важное значение при этом приобретают вопросы устойчивости, регулирования, выживания.

Типичные примеры больших систем в современной технике — автоматические телефонные станции, заводы-автоматы, системы управления ракетами и космическими кораблями, крупные атомные устройства и т. п.; всюду здесь мы сталкиваемся либо со случайной нагрузкой, либо со случайными возмущениями. Проектирование таких систем выделилось в особую отрасль техники — системотехнику (*system engineering*). Заметим, что комплексная автоматизация, ныне революционизирующая промышленное производство, есть не что иное, как переход к большим техническим системам ([17], [33], [56]).

В естествознание большие системы вошли вместе с молекулярно-кинетической теорией газов и статистической термодинамикой и окончательно утвердились в нем в XX столетии (квантовая механика, космогония, генетика и т. п.). Последним этапом этого переворота было возникновение кибернетики с ее статистической концепцией информации и управления ([12], [47], [59]).

Указать точное количество элементов, делающее систему большой, нельзя: в одних случаях оно будет одним, в других — другим. Мы назвали лишь примерный порядок величины. Существуют стохастические системы с малым числом элементов, образующие как бы мост от малых систем к большим; возьмем хотя бы игральную кость — стохастическую систему из одного элемента. Однако, в сущности, это подсистемы скрытых больших систем, сообщающих им необходимую случайность действия. Кроме того, даже малые стохастические системы требуют многократных повторных испытаний для обнаружения всех своих особенностей.

Очень же обширные стохастические системы, как, например, большие массы газа, в целом усваивают детерминированное поведение и перерождаются в малые системы, сохраняя первоначальные черты случайности лишь в более тонких эффектах. При этом элементы укрупняются; в обычных опытах с газами считают не молекулы, а граммы.

Такова предлагаемая нами шкала системной сложности. Применяя ее, однако, нельзя забывать о множественности системных образов вещей: один и тот же объект допускает различные системные модели, соответствующие различным его сторонам и различной глубине проникновения в него.

Действительно, каждая система содержит подсистемы, и многие из них могут иметь более низкий уровень сложности, а значит, быть более доступны для исследования и управления, нежели совокупная система. Человек сначала открывает более простые подсистемы и только постепенно проникает в глубь объекта, разделяя его на все более мелкие части и прослеживая все более скрытые и прихотливые взаимосвязи. Поэтому те же самые вещи сегодня могут изучаться и использоваться на совсем ином уровне сложности, чем вчера. Так, в теории газов работам Клаузиуса и Больцмана предшествовали детерминистические схемы Бойля и Мариотта, а им — предметный образ ветров, заключенных в пещере Эола.

Системная футурология

Рассмотренная модель научно-технического прогресса была построена индуктивным путем, на основе сравнительного анализа достижений разных эпох и выделения для них характерных уровней системной сложности. Как уже говорилось, современная теория систем не позволяет находить эти уровни строгой дедукцией. К индукции мы прибегнем и для продолжения модели в будущее. Действительно, наука и техника наших дней, наверное, уже содержат какие-то зачатки, какие-то ростки высших системных уровней, и если их правильно опознать, то это даст нам способ указать предстоящее развитие.

Проблема предвидения судеб человечества и его цивилизации давно волновала мыслителей. От сивиллиных книг и стихов Апо-

калиписса дискуссия была перенесена в сферу научных гипотез и числовых оценок: возникла идея регулярного исследования будущего ([65], [50]).

В наше время потребность в прогнозах ощущается необыкновенно остро ([3], [20]), и исследование возможных перспектив быстро превращается в особую дисциплину, которую часто называют футурологией*. Этот латино-греческий термин употреблялся зарубежными авторами с конца 50-х годов [58]. Независимо от них я предлагал этот термин в упомянутой выше лекции в 1963 г. вместе с чисто греческим — «меллонтология»**. По сути, речь идет о своеобразном новом разделе исторической науки. При этом понятно, что марксистская футурология не может не отличаться глубоко от доктрин апологетов старого общества.

Футурология, вообще говоря, должна заниматься предсказанием всей будущей истории, но сейчас мы рассматриваем более узкую задачу — предсказание эволюции науки и техники, и коль скоро теория научно-технического прогресса была названа нами дедалогией, то эту ветвь футурологии позволительно именовать футуродедалогией (или меллонтотедалогией). Как и вся футурология, футуродедалогия делает первые шаги. Методика ее еще во многом несовершенна, широко используется интуиция («дельфийский метод») и прямая экстраполяция текущих процессов, хотя малопомалу исследователи переходят к более искусному анализу и моделированию ([3], [5], [9], [14], [20], [22], [24], [45], [58]). Особенную трудность представляют дальние прогнозы, где требуется общий синтез.

Футуролог, если он хочет смотреть далеко вперед, нуждается в целостном подходе к научно-техническому прогрессу, в общей его теории, в постижении его вековых, глубинных тенденций. Думается, системная модель способна здесь принести значительную пользу, ибо она предлагает нам широкий, синтетический образ событий, помогая заметить за деревьями лес. Для ближних прогнозов она составит необходимый общий фон, для дальних же я пока не вижу никакой другой прочной опоры.

Итак, встает вопрос о системной футурологии, или, точнее, о системной футуродедалогии. По зачаткам высших уровней в настоящем мы можем построить системную модель грядущего и извлечь из общих характеристик стадий различные частные заключения. Я ограничусь кратким наброском таких системных прогнозов. Системная характеристика ближайшего будущего не вызывает сомнений: предстоит завершение дедалогической революции стадии больших систем и зрелый период этой стадии — эпоха автоматизированной индустрии, заводов-автоматов, управляющих машин, эпоха обилия энергии и информации, когда человек будет заниматься в первую очередь духовным производством — ис-

* От лат. *futurum* — «будущее» и греч. *λόγος* — «слово, понятие».

** От греч. *μελλον* — «будущее». См. также [34].

следованием, предвидением, планированием. Это наше научно организованное коммунистическое завтра*.

Что касается дальнейшего, то разбор элементов высшей сложности в современной науке и технике позволяет предвидеть наступление по крайней мере еще двух системных стадий:

1) стадии превращающихся, или ультрасложных, систем, когда человек овладеет явлениями роста, развития и организации и будет создавать саморазвивающиеся и самоорганизующиеся устройства, а с ними — искусственную жизнь и искусственный разум (вероятное начало — середина или конец ХХІ в.);

2) стадии парадоксальных систем, или стадии сверхсистем, когда человек овладеет пространством и временем как общими формами организации материи и научится управлять их изменением, участвуя в космогонических процессах (эта стадия, возможно, начнется где-то в середине или в конце III тысячелетия).

Превращающиеся, или ультрасложные системы — это системы с числом элементов порядка 10^8 — 10^{30} и с такой сложной организацией связей между элементами, благодаря которой система становится способной к росту, развитию, превращению, к усложнению своей организации. Иными словами, это самоорганизующиеся, самосовершенствующиеся системы. Примерами могут служить живые организмы и, в частности, сами люди**.

Хотя человек искони соприкасался с различными животными и растениями и столь же давно изучал самого себя, наше понимание жизни до сих пор остается неполным. По сути, мы применяем системно упрощенные модели феномена, полезные в том или ином отношении, но не передающие всей сложности оригинала.

Некогда наши предки подходили к живым существам как к цельным предметам и плохо представляли себе их внутреннее строение и внутреннюю деятельность. Позже анатомия и физиология успешно развивались в рамках концепций больших предметов и малых систем, однако Декартов взгляд на зверей как на детерминированные автоматы был механистическим преувеличением. Дарвин и Мендель подготовили обращение к стохастическим моделям. Наконец, наука больших систем в лице кибернетики продвинула анализ дальше, но снова остановилась перед препятствиями.

Еще в 50-х годах Дж. фон-Нейман писал: «Число нейронов в центральной нервной системе имеет примерно порядок 10^{10} . У нас нет абсолютно никакого опыта в обращении с системами такой сложности. Во всех созданных человеком искусственных автоматах число частей, по более или менее схематическому подсчету,

* См. [3], [5], [9], [22]. Последующие стадии научно-технического прогресса будут, по видимому, соответствовать различным высшим фазам бесклассового общества.

** Разум, отличающий человека от других живых существ, с системной точки зрения можно определить как способность к ультрасложному внешнему поведению, поскольку он позволяет деятелю умножать и наращивать эффект своих действий путем введения промежуточных звеньев — орудий. Ультрасложность животных и растений — внутренняя.

имеет порядок от 10^3 до 10^6 » (цит. по [59, стр. 95]). Стало ясно, что явления самоорганизации предполагают иной уровень сложности. Ныне, когда наука больших систем в основном уже сформировалась, внимание исследователей все упорнее сосредоточивается на этих явлениях ([12], [38], [43]).

Наука и техника вступают в стадию превращающихся систем лишь после того, как будет синтезировано живое вещество и созданы подлинные «мыслящие машины», пусть и не более разумные, чем их конструкторы, но способные самостоятельно исследовать окружающий мир и учиться из опыта*. Новая стадия должна принести новую научную и новую техническую (промышленную) революцию. Более того, мы вправе ожидать и значительной перестройки самого человека — биологической революции, как части этого дедалогического переворота**.

Тем самым кончится период существования *Homo sapiens* как вида, биологическая эволюция уступит место эволюции биотехнической. Это, несомненно, облегчит распространение человека во Вселенной. Начнется время великих космических путешествий и приключений, время новых Аргонавтов и Синдбадов. Можно думать вместе с Циолковским [52], что в конечном счете люди перейдут к жизни в свободном пространстве. Но такая трансформация, по всей видимости, займет не одно столетие. В то же время бунт машин и владычество роботов [55], [60], [61] кажутся мне маловероятным исходом. Преобразуя себя, человек сможет быть впереди любой машины.

Превращающиеся системы — третий класс динамических систем. Их можно рассматривать как динамические системы в высшем смысле, ибо они изменяют не только свои состояния, но и свое строение, а с ним — и законы своего изменения. Это позволяет им приспособляться к окружающей среде и ассимилировать ее. Можно полагать, что существенную роль здесь играет тонкое и своеобразное сочетание детерминизма и случайности. Успешное приспособление к случайности требует наличия в самой системе механизмов, обеспечивающих ей достаточную свободу выбора, и в то же время разветвленного детерминизма для использования этого выбора. Принцип «случайность против случайности» был описан уже в Дарвиновой теории естественного отбора и подробно анализируется в новейшей теории игр ([11], [12], [59]).

Парадоксальными системами, или сверхсистемами, мы называем системы, способные управлять пространством и временем и изменять космические формы своего бытия. Имя парадоксальных

* Современный «электронный мозг» еще очень далек от таких возможностей несмотря на появление первых программ распознавания и обучения. Вычислительные машины пока не мыслят, а лишь моделируют некоторые аспекты мышления (ср. [46]).

** Мы можем назвать ее III биологической революцией, считая возникновение организмов современного типа и появление человека разумного за две первые. Здесь встает интересная проблема взаимосвязи научно-технического и биологического прогресса (см. [36]).

подходит им не только потому, что речь идет о необычайных, парадоксальных, по сегодняшней мерке, процессах, но и потому, что здесь мы сталкиваемся с необычайным, парадоксальным строением материи, с парадоксальными отношениями между частью и целым (часть, управляющая целым, как бы сама делает его своею частью). Такие системы, очевидно, должны быть обширнее и сложнее обыкновенных динамических систем, действующих в «абсолютном», независимом от них пространстве и времени. Поэтому кажется правильным отделить их от динамических систем и говорить о новой эре — эре парадоксальных систем. Быть может, существует даже несколько разных уровней сложности парадоксальных систем, но мы не в силах отличить их друг от друга, как и соответствующие им стадии.

В нашу эпоху проблемой управления пространством и временем занимаются преимущественно фантасты, однако современная наука, и прежде всего теория относительности, дает нам первые намеки на подобные возможности. Правда, с системной точки зрения, космология Эйнштейна не является теорией подлинно парадоксального уровня, а лишь обнаруживает некоторые черты такой парадоксальности; в целом она вписывается в рамки классического детерминизма, науки малых систем*. Тем не менее в свете релятивистских представлений закономерно сделать предположение о существовании естественных парадоксальных систем (вспомним хотя бы гипотезы о расширяющейся или пульсирующей Вселенной — [8], [15], [49], [64]) и создания искусственных конструкций такого рода (например, релятивистских звездолетов — [32], [44]).

Число элементов в парадоксальных системах можно грубо оценить как 10^{30} — 10^{200} (ср. подсчеты мировых элементов у Бореля [7]); впрочем, о верхней границе судить не легко, ибо нам неизвестно, что лежит за нею.

Строго говоря, известные зачатки парадоксальности имеются уже в превращающихся системах, и мы можем рассматривать этот ранее описанный класс как промежуточный между системами динамическими и системами парадоксальными. Действительно, процессы самоорганизации тесно связаны с природой времени и в некотором смысле равносильны его замедлению (борьба с энтропией). Проявляется здесь в начальных формах и парадокс взаимоперехода части и целого. С другой стороны, процессы самоорганизации, по всей видимости, играют немалую роль в механизме парадоксальных систем. В частности, споры вокруг релятивистского звездолета как будто приводят к заключению, что такой корабль должен быть самоорганизующей системой, способной к усвоению вещества из окружающего пространства. Вероятно, ультрасложные эффекты интересны также для космогонии**.

* Именно так оценивает ее Бор [6, стр. 140].

** Ср. «принцип массового производства» у Дж. Томсона [45, стр. 35].

Естественно ожидать, что наука парадоксальных систем будет намного выше и сложнее не только науки малых и больших систем, но и возникающей науки превращающихся систем. Она потребует новых принципов и новых методов. Быть может, прообраз такого системно высшего мышления следует искать в диалектической логике — логике противоречия.

Стадия парадоксальных систем рисуется эпохой сказочного могущества человека. Овладев тайной пространства и времени, изменяя их по своей воле, он будет деятельно участвовать в космогонических процессах, созидать и разрушать миры. Преображенный биологически, наделенный новыми силами и способностями, сын Земли станет новым существом — титаном, как мы можем его назвать*. По крайней мере, мы имеем некоторое право на такие предположения.

Что же потом? Развитие, конечно, не может остановиться, но для дальнейших предсказаний мы больше не находим ориентиров. Не сменится ли восхождение нисхождением, эволюция — инволюцией? Или гигантский цикл повторится опять на каком-то новом, высшем уровне? Вершины вершин одеты туманом ...

Системная модель научно-технического прогресса, показывая общее направление движения, не говорит ничего о сроках. Время наступления стадий нельзя определить одним внутренним анализом науки и техники, оно зависит от совокупного течения будущей истории. Это задача всей футурологии, не только футурологии. Указанные выше сроки — результат грубой, интуитивной прикидки, в предположении относительно благоприятных обстоятельств. Возможно, что, как случалось не раз, действительность опередит ожидания. Многое зависит от самих людей, от тех выборов, которые будут сделаны**.

Правда, история редко бывала сплошным триумфальным шествием, и грядущие поколения вряд ли сумеют совершенно избежать трудностей и риска. Футуролог, не снимающий розовых очков, — опасный пророк. В худшем случае человечество может даже стать жертвой катастрофы, космической или по своей вине, так и не совершив всего мыслимого. Рядом с Дедалом летел Икар!

Думается, однако, что у нас больше шансов на успех, чем на неудачу. Ключ к этому (я не буду здесь оригинален) — в развитии эффективных методов предвидения и планирования, в научном управлении обществом, в соединении с научно-техническим прогрессом прогресса общественного. *Caveant consules ne quid detrimenti res publica capiat.*

* Ср. фантастический роман О. Бердника [2]. Конечно, такой титан, при всей своей власти, не мог бы быть богом, всемогущим и всеведущим. Или, если угодно, это такой же бог, как, скажем, мы сами по отношению к кроманьонцам.

** В тезисах [34] я был смелее, но сложность и размах ожидаемых перемен побуждают отвести им больше времени. Впрочем, короткая шкала защищалась и другими авторами [22], [14].

В частности, большие новые возможности открывает перед человечеством прорыв в космос. Именно поэтому великий гуманист Циолковский призывал к выходу из тесной земной колыбели [51]*.

Заключение

Представим себе сразу все восемь стадий, восемь ступеней растущей мощи смертных, включая нулевую, дочеловеческую стадию.

Если попытаться свести историю науки и техники к одной предельно сжатой формуле, то наша модель подсказывает следующий ответ: анализ (разложение) первично цельного окружающего мира на все более мелкие и тонкие фрагменты и затем синтез (составление) из них нового, лучшего мира — своего рода отрицание отрицания. Не будем удивляться подобному итогу. Анализ старого и синтез нового — общая формула любой целенаправленной деятельности как в малом, так и в великом, и все летописи прогресса способны лишь еще раз удостоверить ее универсальность.

Безусловно, на каждой стадии должны совершаться и акты анализа, и акты синтеза, но на ранних стадиях преобладают первые, на позднейших же главенство переходит ко вторым. Повидимому, именно наше время, эпоха больших систем, является началом поворота к синтезу.

Возможно, мы не одни, и звездная бездна таит неведомые планеты с другой жизнью и другими цивилизациями** ([13], [32], [42], [57]). Общность системного подхода побуждает думать, что изложенная модель научно-технического прогресса применима — по крайней мере *grosso modo* — к любым планетным цивилизациям, созданным разумными существами, антропоморфными или неантропоморфными. Модель описывает логический путь развития такой цивилизации до того момента, когда из планетной она превращается в космическую.

Конечно, в конкретных деталях не следует ожидать явного сходства с земными образцами; практическое устройство машин и сооружений, используемые физические эффекты, культурные традиции могут оказаться весьма и весьма необычными. Вспомним, например, насколько отличались туземные цивилизации Нового Света от того, что было по сю сторону Атлантики. Ясно также, что различные миры будут развиваться различными темпами. Однако не исключено, что в конце концов, с биологической революцией и завоеванием мирового пространства, развитые цивилизации значительно сблизятся или даже сольются***.

* Характерно, что пессимистический прогноз Ч. Г. Дарвина [62] полностью отвлекается от космических перспектив; стр. [48]. Об угрозе злоупотребления научно-техническими достижениями см. [3], [5], [12], [29], [50].

** В Солнечной системе, вероятно, нет других обитаемых планет, кроме Земли.

*** «Автоэволюция» цивилизаций в смысле Ст. Лема [26] кажется мне менее обещающим путем, нежели выход в космос. Однако на стадии парадоксальных систем, возможно, станет осуществимо и полное пространственное выделение из данной Вселенной.

Но не предрекаю непременно встречи с другими могущественными. Возникновение жизни даже на самых удобных планетах требует изрядного времени и, судя по всему, есть процесс стохастический, а не строго детерминированный. Наша нынешняя звездная Вселенная может быть еще молода для того, чтобы жизнь стала правилом, а не исключением; действительно, космологи оценивают возраст галактик всего в 10—15 млрд. лет [15]. При современном состоянии науки вопрос об актуальном существовании внеземных цивилизаций приходится считать открытым. Вместе с тем позволительно предположить, что существующий механизм Вселенной со временем неизбежно должен порождать на тех или иных планетах жизнь и разум. Это значит, что неудача и гибель одной цивилизации не нарушат космической эволюции разума, хотя, быть может, и замедлят ее бег.

Видимо, эта эволюция составляет какой-то важный эпизод грандиозной космической драмы, сюжет который остается для нас еще слишком смутным. Завтра мы будем знать больше.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Арциховский А. В.* Основы археологии, изд. 2. М., 1955.
2. *Бердник О.* Шляхи титанів. Київ, 1959.
3. *Бестужев-Лада И. В.* Социальное прогнозирование. М., 1969.
4. *Бернал Дж.* Наука в истории общества. М., 1956.
5. *Бернал Дж.* Мир без войны. М., 1960.
6. *Бор Н.* Атомная физика и человеческое познание. М., 1961.
7. *Борель Э.* Вероятность и достоверность. М., 1961.
8. *Борн М.* Эйнштейновская теория относительности. М., 1964.
9. *Васильев М., Гуцев С.* Репортаж из XXI века. Рассказы советских ученых о науке и технике будущего, изд. 2. М., 1963.
10. *Вацуро Э. Г.* Исследование высшей нервной деятельности человекообразных обезьян. Л., 1957.
11. *Вильямс Дж. Д.* Совершенный стратег. М., 1960.
12. *Винер Н.* Кибернетика, или Управление и связи в животном и машине, изд. 2. М., 1968.
13. «Внеземные цивилизации». М., 1969.
14. «Горизонты науки и техники». М., 1969.
15. «Гравитация и относительность». М., 1965.
16. *Грневский Г.* Кибернетика без математики. М., 1964.
17. *Гуд Г. Х., Макол Р. Э.* Системотехника. М., 1961.
18. *Дембовский Я.* Психология животных. М., 1959.
19. *Добров Г. М.* Наука о науке. Киев, 1966.
20. *Добров Г. М.* Прогнозирование науки и техники. М., 1969.
21. «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
22. *Кларк А. Ч.* Черты будущего. М., 1966.
23. *Косвен М. О.* Очерки истории первобытной культуры, изд. 2. М., 1957.
24. *Лада И. В., Писаржевский О. Н.* Контуры грядущего. М., 1965.
25. *Левин-Брюль Л.* Сверхъестественное в первобытном мышлении. М., 1937.
26. *Лем Ст.* Сумма технологий. М., 1968.
27. *Лосев А. Ф.* Античная мифология в ее историческом развитии. М., 1957.
28. *Маркс К. и Энгельс Ф.* Сочинения, т. 23.
29. «Научно-техническая революция и общественный прогресс». М., 1969.
30. «Общая теория систем». М., 1966.
31. *Осипов Г. В.* Техника и общественный прогресс. М., 1959.
32. *Перельман Р. Г.* Цели и пути покорения Космоса. М., 1967.

33. Поваров Г. Н. О системотехнике и о книге Гуда и Макола.— [17, стр. 5—12].
34. Поваров Г. Н. Сложность систем как показатель научно-технического прогресса.— [39, стр. 5—12].
35. Поваров Г. Н. О втором издании «Кибернетики» Н. Винера.— Н. Винер. Новые главы кибернетики. М., 1963.
36. Поваров Г. Н. Стадиальный анализ научно-технического прогресса в истории человечества.— «Доклады МОИП. Общая биология», 1967, кн. 1 (1969 г. изд.).
37. Поваров Г. Н. Об уровнях сложности систем.— «Методологические проблемы кибернетики. Материалы к Всесоюзной конференции», т. II. М., 1970.
38. «Принципы самоорганизации». М., 1966.
39. «Проблемы исследования систем и структур. Материалы к конференции». М., 1965.
40. Рачков П. А. Наука и общественный прогресс. М., 1963.
41. Решетов Ю. Г. Природа Земли и происхождение человека. М., 1966.
42. Салливан У. Мы не одни. М., 1967.
43. «Самоорганизующиеся системы». М., 1964.
44. Соколовский Ю. И., Шилов В. И. Фотонный звездолет. Харьков, 1960.
45. Томсон Дж. Предвидимое будущее. М., 1958.
46. Тьюринг А. М. Может ли машина мыслить? М., 1960.
47. Уилсон А., Уилсон М. Информация, вычислительные машины и проектирование систем. М., 1968.
48. Фламарион К. Конец мира. М., 1908.
49. Фридман А. А. Мир как пространство и время, изд. 2. М., 1965.
50. Холден Д. Б., Рёссель Б. Дедал и Икар. (Будущее науки). М.— Л., 1927.
51. Циолковский К. Э. Цели звездоплавания.— К. Э. Циолковский. Путь к звездам. М., 1960.
52. Циолковский К. Э. Живые существа в космосе.— К. Э. Циолковский. Путь к звездам. М., 1960.
53. Чайлд Г. Прогресс и археология. М., 1949.
54. Чайлд Г. Древнейший Восток в свете новых раскопок. М., 1956.
55. Чапек К. R.U.R.— К. Чапек. Соч., т. III. М., 1958.
56. Честнат Г. Техника больших систем. М., 1969.
57. Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум, изд. 2. М., 1965.
58. Шум вокруг футурологии.— «За рубежом», 1967, № 16.
59. Эшби У. Р. Введение в кибернетику. М., 1959.
60. Butler S. Erewhon, or over the Range. N. Y., 1927.
61. Cleator P. E. The Robot Era. London, 1955.
62. Darwin Ch. G. The Next Million Years. London, 1952.
63. Katz D. Mensch und Tier. Zürich, 1948.
64. Lemaitre G. L'hypothèse de l'atome primitif. Neuchatel, 1946.
65. Wells H. G. The Discovery of the Future.— «Nature», 1902, v. LXV, N 1684.

К ПРОБЛЕМЕ СИСТЕМНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НАУКИ (АНАЛИЗ СИСТЕМНОГО ЗАМЕЩЕНИЯ)

И. С. ЛАДЕНКО, Ю. И. ГРАБАРЕВ

В процессе становления науковедения как самостоятельной области знаний систематически возникает необходимость представления его объекта исследования в виде некоторой теоретической целостности, т. е. системы. Построение подобного предмета, в границах которого возможно системное исследование науки, является достаточно сложной проблемой. Предлагаемый подход к ее решению основан на рассмотрении науки как сложной организационной системы познавательной деятельности, что позволяет применить в исследовании науки общие принципы инженерных и проектировочных способов рассуждений.

Применение идей системного анализа к исследованию науки еще не получило такого распространения, как разработка с помощью системного анализа технических и экономических проблем. Это обусловлено тем, что отсутствуют работы, в которых осуществилась бы в общем теоретическом и методологическом плане связь между содержательными представлениями о науке и идеями, методами и математическим аппаратом системного анализа.

Исходным пунктом нашего рассмотрения является фиксация связи человека и технических устройств при выполнении познавательных функций. Эта связь рассматривается двояко: а) в отношении замещения естественных органов человека техническими устройствами; б) в отношении их совместного функционирования. Разумеется, речь идет лишь об одном из вариантов решения названной проблемы.

Рассмотрим систему познавательной деятельности, являющуюся частным случаем системы социальной деятельности. Под «системой познавательной деятельности» (СПД) мы понимаем некоторое множество познавательных функций (операций), выполняемых одним человеком или несколькими людьми с помощью естественных органов или технических устройств при решении определенной задачи*. Соотнесение множества познавательных функций и

* Анализ и проектирование систем в связи с решаемыми ими задачами являются широко принятыми процедурами в системотехнике и исследовании операций. Достаточно подробное их изложение имеется в [2], [6], [11] и других работах по системному анализу.

множества естественных органов человека и технических устройств с определенной задачей позволяет выделять СПД как целостные образования. Очевидно, что СПД могут быть различной степени сложности в зависимости от степени сложности соответствующих задач.

В каждой реальной СПД имеется вполне определенная распределенность познавательных функций между естественными органами человека и техническими устройствами, т. е. за каждым материальным элементом «закреплено» выполнение некоторых операций. Это выражается в схемах выполняемых СПД процессов и фиксируется в соответствующих программах. Переход от одной СПД к другой, например, замещение естественных органов человека, арифмометра, карандаша с бумагой и пр. цифровой вычислительной машиной, состоит в перераспределении познавательных функций между материальными элементами системы. Такой переход может включать изменение набора функций, изменение набора функций и набора материальных элементов, изменение набора материальных элементов. Он выражается в изменении схем познавательных процессов, выполняемых СПД. При этом возможны самые различные перераспределения функций: а) между естественными органами различных людей, б) между естественными органами и техническими устройствами, в) между техническими устройствами. Замещение одних материальных элементов другими производится в связи с решением различных задач относительно СПД, например, для увеличения скоростей выполняемых ими процессов, для увеличения надежности их работы, для снижения затрат на их организацию и текущих затрат и т. д.

Рассматривая различные СПД, можно выделить такие из них, которые отличаются наборами познавательных функций или наборами материальных элементов и связаны с решением одной и той же познавательной задачи, т. е. выполняют один и тот же процесс с точки зрения вида его результата и его исходных данных. Тождество этих систем с точки зрения выполняемых ими видов процессов, т. е. в основном их свойстве, и их различия с точки зрения их структуры, т. е. в ограничивающем свойстве (здесь ограничения относятся к выполнению процесса в некоторых условиях), позволяют рассматривать эти СПД как эквивалентные ([7], [8]).

Эквивалентные СПД при определенных условиях могут замещать друг друга (например, цифровая вычислительная машина и вычислительная система, в которой вычислительные процессы выполняются естественными органами человека и простыми техническими приспособлениями). Такое замещение производится тогда, когда выполнение некоторого процесса при решении определенной задачи оказывается неэффективным или невозможным посредством одной из этих систем.

Анализ возможностей автоматизации познавательной деятельности требует выяснения того, каким образом технические устрой-

ства могут полностью заменять работу естественных органов человека в системах. Изучение этого должно выявить, каким образом возможны замещения в познавательной деятельности одних систем другими. В этой связи необходимо уточнение роли органов чувств в познавательной деятельности и выяснение оснований автоматизации эксперимента и наблюдения.

В современной науке при проведении наблюдений и постановке экспериментов широко применяются различные методы измерения. В ряде случаев решение задач наблюдения и эксперимента оказывается вообще невозможным без автоматизации измерений (например, в исследованиях космического пространства или при изучении явлений микромира). В этих случаях мы встречаемся с замещением одних систем познавательной деятельности другими (на основании отношения эквивалентности), которое в дальнейшем мы будем называть системным замещением.

В ряде исследований решение вопроса об автоматизации измерений связывается с информационным анализом измерительной деятельности [4]. В этих работах реализуется следующая схема 1 основных этапов деятельности и связей между ними.

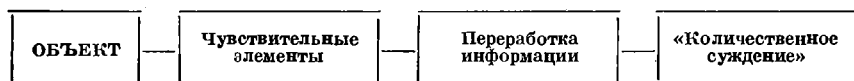


Схема 1.

В информационной теории измерений процессы измерения рассматриваются как процессы получения информации непосредственно от объекта, ее переработки и выдачи результата в виде «количественного суждения». Это понимание процессов измерения основывается на их представлении как определенной разновидности познавательной деятельности.

Авторы рассматриваемой точки зрения полагают, что существует аналогия между функциональными схемами органов чувств и измерительными информационными системами. Согласно этой схеме, измерительные устройства рассматриваются либо как блок органов чувств (ср. с традиционным понятием измерения в [10]), либо как синтез блоков органов чувств и мыслительных операций (ср. с определением измерения в [4]). Однако в обоих случаях предполагается, что блок органов чувств линейно связан с блоком мыслительных операций, т. е. информация, получаемая органами чувств, непосредственно перерабатывается блоком мышления.

Но процессы измерения не являются деятельностью органов чувств: они представляют собой семиотическую деятельность особого рода и, вследствие этого, могут рассматриваться в качестве разновидности мыслительной деятельности (ср. с анализом измерений в [8], [9]). Для того, чтобы установить справедливость

выдвинутого положения, рассмотрим измерение какой-либо неэлектрической величины электрическим методом ([12], [14]). Примером здесь может служить измерение механических напряжений электротензометрическим способом.

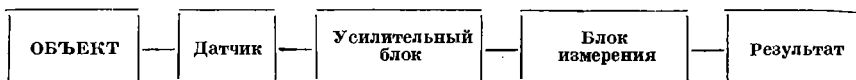


Схема 2.

В приведенной схеме 2 обратим внимание на датчик. Он выполняет функцию преобразования информации. Это значит, что его можно рассматривать как автомат, преобразующий слова входного алфавита в слова выходного алфавита [1]. Аналогичным образом можно рассматривать два следующих блока схемы. Результаты измерений относятся к объекту.

В соответствии с информационным представлением всего процесса измерения естественно считать, что до преобразования в датчике информация также была отнесена к объекту. Но это означает, что мы столкнулись с противоречием: информация оказывается отнесенной к объекту и в то же время она содержится в нем.

Для того чтобы можно было выйти из указанного противоречия, мы рассмотрим объект измерения двояко: а) как исследуемый предмет, б) как знак самого себя.

В этом случае, действительно, можно рассматривать весь процесс, изображенный на схеме 2, как процесс преобразования информации, т. е. в соответствии с информационным представлением процессов измерения.

Аналогичные случаи двойственного рассмотрения объектов известны в логике, где объекты могут в определенных условиях выступать и в качестве предметов, о которых формулируются высказывания, и в качестве имен самих себя. Для точного различения этих двух случаев объекты, выступающие в качестве знаков самих себя, записываются в кавычках. Объект, являющийся знаком самого себя, называют автонимом, а отмеченную двойственность — явлением автонимности [5]. Однако принятый в логике графический способ различения объекта как предмета и как автонима мы не можем использовать применительно к объектам измерения и должны предложить иной способ.

Для эффективного различения того, когда имеют дело с объектом как предметом, а когда — как с автонимом, примем следующее соглашение: В том случае, когда реакция на объект направлена на воспринимаемую его сторону, имеют дело с предметом; когда же реакция направлена не на ту сторону, которая воспринимается непосредственно, а на другую, — имеют дело с автонимом. В таком понимании автонимность может быть рассмотрена с помощью

одной из известных в литературе [15] схем для анализа знаков, обозначаемого ими содержания и связи первых со вторым (схема 3).

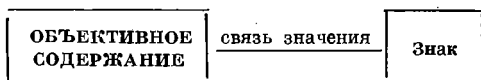


Схема 3

Явление автонимности изображается с помощью приведенной схемы на основании функционального и материального различения знаковой формы и объективного содержания. Обозначив некоторый объект символом O_i , можно обозначить его в качестве предмета символом $A(O_i)$, а как автоним — $B(O_i)$. В результате подстановки символов $A(O_i)$ и $B(O_i)$ вместо соответствующих им элементов на схеме 3 получим изображение автонимности (схема 4).

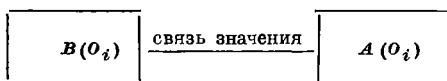


Схема 4

Действительно, если мы измеряем напряжение, возникающее в каком-либо материале, с помощью электротензометрического метода измерения, то датчик воспринимает и преобразует деформацию кристаллической решетки этого материала. Изменения кристаллической решетки выступают в качестве знака $B(O_i)$ напряжений $A(O_i)$, возникающих в материале O_i . Но в этом случае испытываемый материал можно рассматривать как автоним.

Возвращаясь к схеме 2, необходимо представить блок объекта как блок автонима. Тогда действительно можно рассматривать весь процесс измерения как процесс преобразования информации.

В измеряемом объекте имеются различные стороны, одни из которых могут восприниматься, а на другие могут быть направлены действия, или же об этих других сторонах формулируются некоторые высказывания. При этом воспринимаемые стороны могут выступать в качестве знаков других сторон объекта. Но такое различение сторон в объекте как знаке и как обозначаемом не имело бы смысла независимо от человеческой деятельности (воздействий, высказываний и т. п.). В объекте независимо от человеческой деятельности нет ни знака, ни обозначаемого. Процесс же, изображенный на схеме 2, можно рассматривать как преобразование информации только в связи с тем, что объект оказался включенным в определенную структуру деятельности.

В рассматриваемом примере изменение напряжения в испытываемом материале и изменение кристаллической решетки являются

двумя сторонами объекта, связанными друг с другом так, что первая отображается во второй. Изменение напряжения однозначно отображается в изменениях кристаллической решетки. Эта объективная связь двух сторон испытываемого объекта принимает на себя функцию значения или обозначения, при условии что этот объект оказывается включенным в деятельность измерения (схема 5).

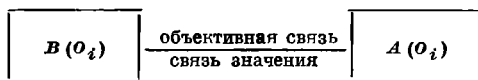


Схема 5

Возвращаясь к схеме 1 и вытекающим из нее следствиям об участии организма человека в наблюдении и эксперименте, следует подчеркнуть, что образование знаний, протекающее как процесс преобразования информации, осуществляется в семиотической форме. Но это значит, что для образования знаний вовсе не обязательно непосредственное участие органов чувств: в информационных измерительных системах количественное суждение об объекте получается без непосредственного участия органов чувств человека в процессах измерения. В этой связи следует подчеркнуть, что процессы измерения и процессы, происходящие в органах чувств, хотя и могут рассматриваться как информационные процессы, являются существенно различными: первые являются семиотическими, в то время как вторые таковыми не являются.

Преобразования семиотической информации имеют место в случае непосредственного выполнения измерения естественными органами человека и в случае автоматического его выполнения. Это обстоятельство является основанием для системных замещений в случае автоматизации наблюдений и эксперимента. И в этой связи мы имеем единую основу для системных замещений в различных областях научной деятельности.

Обратим внимание на то, что в измерении человек выполняет ряд существенно различных функций. Основанием для выделения этих функций является рассмотрение того процесса, в котором выполняемые естественными органами познавательные функции человека постепенно передаются различным приспособлениям и устройствам, не входящим в состав его биологического организма. Например, функция эталона, выполняемая ступней, пядью и т. п., отделяется от этих частей тела и материализуется в специализированных физических приспособлениях; вычислительные процессы, входящие в измерения, могут быть выполнены в устной речи или же вне организма человека, на листе бумаги и т. д. Мы можем дать перечень ряда различных блоков, которые не входят в организм человека и выполняют функции, связанные с измерением. Тогда за человеком остается приведение во взаимодействие этих блоков между собой и с объектом измерения, которое осуществ-

вляется в соответствии с программой измерения. Но если и программа измерения выписана на бумаге в виде особой инструкции, то человек выполняет исключительно энергетические функции, которые корректируются с помощью его органов чувств.

Очевидно, что если мы в состоянии реализовать все функции (познавательные, энергетические, корректировочные) техническими элементами, то весь процесс измерения оказывается выполнимым с помощью технического устройства. Создание автоматических измерительных устройств с точки зрения передачи функций аналогично созданию электронных вычислительных машин (ср. приведенное рассуждение с генетическим анализом автоматизации вычислений в [3]).

Из изложенного ясно, что после передачи познавательных функций техническим устройствам и записи программы измерений на бумаге на долю человеческого организма приходится обеспечение взаимодействия указанных блоков между собой и с измеряемым объектом. Эти функции выполняются с помощью энергетических органов, которые корректируются информационными органами, т. е. органами чувств. На этом уровне анализа процесс измерения может быть изображен схемой 6.

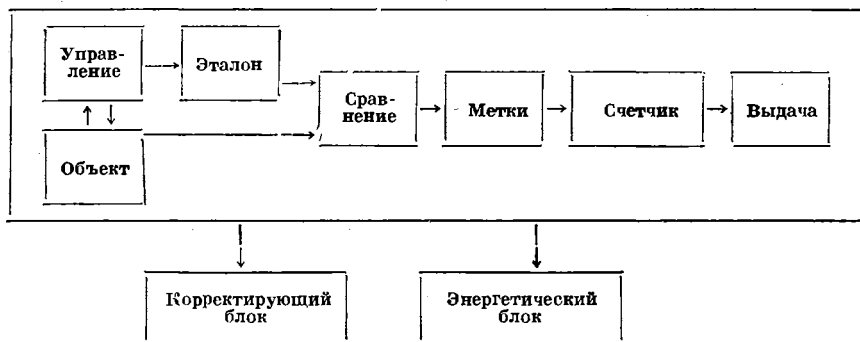


Схема 6

В настоящее время техническая реализация измерительных и энергетических функций, представленных на схеме 6, не составляет трудности; в измерительной технике разработан для этого ряд различных автоматических устройств. При этом корректировочные функции, выполняемые первоначально органами чувств, также передаются техническим элементам. В автоматических измерительных устройствах имеются особые элементы, выполняющие функцию корректировки. В том случае, когда корректировка задана жестко, ее функция реализуется самой структурой прибора. Но иногда эти функции связаны с избирательной ситуацией, и тогда прибор строится как программноуправляемое устройство в его корректировочном аспекте.

Рассматривая во времени передачу измерительных, энергетических и корректировочных функций техническим приспособлениям, можно выделить ряд отличных друг от друга систем измерительной деятельности. Среди них имеются антропометрические, инструментальные, приборные и автоматические системы. Одни из этих систем получаются из других посредством системного замещения.

Обратим внимание на то, что рассмотрение замещений естественных органов человека техническими устройствами позволяет отвлечься от материальных элементов и анализировать функциональную структуру систем познавательной деятельности. На примере измерения такой анализ был доведен до схемного изображения функциональной структуры анализируемых систем. Нахождение последней позволяет рассматривать различные материальные системы как реализации найденной функциональной структуры. Эти системы удовлетворяют определению эквивалентных систем деятельности. На основе принципов детализации и укрупнения можно рассматривать отношения между тождественными функционально элементами эквивалентных систем деятельности. Примером этого является анализ отношения между органами чувств и техническими элементами корректировки в эквивалентных системах измерительной деятельности.

Особого внимания заслуживает вопрос об эмпирическом материале, на котором можно вести структурный анализ систем деятельности. Очевидно, что ни естественные органы человека, ни технические устройства не могут быть использованы в качестве такого материала. Эмпирическими данными для структурного анализа систем деятельности являются инструкции, или программы, в которых формулируются алгоритмы процессов, реализуемых соответствующими системами. В этих же инструкциях описываются материальные элементы систем и их связи в системах при выполнении процессов.

Примерами таких инструкций являются инструкции вычислений, измерений, инструкции обучающей деятельности, поиска научно-технической информации, инструкции конструирования радиоаппаратуры и т. п. Такие инструкции могут задавать процессы деятельности на различных уровнях их сложности, с различной степенью детализации или укрупнения.

Заметим, что системы познавательной деятельности в изложенном понимании и структурный их анализ не входят в предмет технических исследований, хотя мы и обращались к некоторым сведениям из современной техники и из истории техники. Технические знания, инженерная психология, эвристика, психология и физиология входят как составные части в междисциплинарные исследования, в которых должны изучаться различные материальные реализации функционально-структурных схем систем познавательной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глушков В. М. Введение в кибернетику. Киев, 1964.
2. Гуд Г. Х., Макол Р. Системотехника. М., 1962.
3. Гутер Р. С. Машинная математика и элементы программирования. — «О некоторых вопросах современной математики и кибернетики». М., 1965.
4. Карандеев К. Б., Цапенко М. П. Измерительные информационные системы. — «Информация и кибернетика». М., 1967.
5. Карри Х. Основания математической логики. М., 1969.
6. Квейд Э. Анализ сложных систем. М., 1969.
7. Ладенко И. С. Об отношении эквивалентности и его роли в некоторых процессах мышления. — «Доклады АПН РСФСР», 1958, № 1.
8. Ладенко И. С. О процессах мышления, связанных с установлением отношения эквивалентности. — «Доклады АПН РСФСР», 1958, № 2.
9. Ладенко И. С. Значение критики В. И. Лениным биологизации социальных явлений для кибернетики. — «Идеи В. И. Ленина озаряют путь к коммунизму». Новосибирск, 1970.
10. Машков Г. Основы метрологии. М., 1948.
11. Оптнер С. Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М., 1969.
12. Поваров Г. Н. О логическом синтезе электронных вычислительных и управляющих схем. — «Логические исследования». М., 1959.
13. «Проблемы организации научных исследований и разработок». М., 1967.
14. Туригин А. М. Электрические измерения неэлектрических величин. М., 1966.
15. Щедровицкий Г. П. Языковое мышление и его анализ. — «Вопросы языкознания», 1957, № 1.

ЭПИСТЕМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ В СИСТЕМАХ ЗНАНИЯ

В. Н. КОСТЮК

Традиционное изучение научного знания состоит в обособленном рассмотрении отдельных его сторон: наблюдения, объяснения, предсказания, понимания, интерпретации, экстраполяции, выдвижения гипотез и т. д. Мы будем следовать другому подходу к изучению научного знания, в основе которого лежит представление о знании как о *некоторой системе*. Такой подход к изучению знания назовем системным.

Системное изучение знания имеет своей целью рассмотрение различных познавательных процессов с единой точки зрения. Основным понятием системного подхода к знанию служит понятие критерия, на основе которого решается вопрос о том, является или не является некоторое утверждение знанием. В содержательном плане определенное утверждение можно считать относящимся к знанию, если оно достаточно содержательно (информативно) и вместе с тем достаточно надежно, достаточно «близко к истине». Это в одинаковой степени относится к любому утверждению, независимо от того, выражает ли оно результаты наблюдения (эксперимента), или объяснения, обобщения, предсказания и т. д.

Система знания, как она здесь понимается, есть совокупность указанных критериев и тех утверждений, которые, согласно этим критериям, относятся к знанию. В данной работе мы не будем различать теоретическое и эмпирическое знание; различие между дедуктивным и индуктивным подходами к знанию проявится лишь в особенностях критерия, по которому утверждение относится или не относится к знанию. Такой подход является весьма упрощенным, но он позволяет достаточно четко сформулировать ряд особенностей систем знания.

Общая характеристика эпистемических критериев

Все критерии, на основании которых решается вопрос о принадлежности или не принадлежности утверждения знанию, будем в дальнейшем называть эпистемическими. Эпистемический крите-

рий назовем правилом принятия, если он формулирует условие, удовлетворение которому ведет к включению соответствующего утверждения в систему знания. Эпистемический критерий назовем правилом отвергания, если он формулирует условие, удовлетворение которому приводит к исключению утверждения из системы знания. Наконец, эпистемический критерий назовем правилом сомнения, если он формулирует условия, удовлетворение которым не дает основания ни для включения в систему знания, ни для исключения из нее. Правило сомнения не имеет ничего общего с какой-либо «философией сомнения» и говорит только о том, что удовлетворяющие определенным условиям утверждения подлежат дальнейшему изучению.

Будем различать непосредственные и выводные правила принятия, а также непосредственные и выводные правила отвергания и сомнения. Непосредственным правилом принятия называется такое правило, которое указывает, в каких случаях следует принять (включить в систему знания) некоторое данное утверждение безотносительно к любому другому утверждению, входящему в систему знания. Такая же безотносительность характеризует непосредственные правила отвергания и сомнения.

Выводным правилом принятия называется такое правило, которое позволяет, исходя из принятия некоторых утверждений, принимать некоторые другие утверждения, определенным образом с ними связанные. Выводное правило отвергания позволяет отвергать некоторые утверждения, исходя из отвергания других утверждений. Выводное правило сомнения позволяет переносить сомнение с одних утверждений на другие. В дальнейшем мы будем рассматривать только выводные эпистемические критерии. (Возможно, что непосредственные эпистемические критерии являются лишь упрощенной версией выводных, но мы не будем обсуждать эту проблему.)

Выводные эпистемические критерии будем подразделять на дедуктивные и недедуктивные. Первые из них основаны на понятии логического следования, вторые — на понятии подтверждения (вообще на статистических, теоретико-вероятностных, теоретико-игровых и т. п. процедурах).

Укажем простые примеры дедуктивных правил принятия и отвергания. Простейшее выводное дедуктивное правило принятия гласит: «если принимается некоторое утверждение, то принимается и любое его логическое следствие». Основанием для этого правила служит дедуктивное правило вывода модус поненс:

$$\frac{A \rightarrow B, A}{B}.$$

Соответствующее ему дедуктивное правило отвергания утверждает: «если отвергается некоторое утверждение, то отвергается любое основание, из которого оно следует». Основой для этого

правила служит дедуктивное правило вывода модус толленс:

$$\frac{A \rightarrow B, \sim B}{\sim A}.$$

В каждом из этих двух правил стрелка $\rightarrow$ обозначает материальную импликацию, $\sim$ — отрицание.

Вообще любое логическое правило вывода служит основой для некоторого выводного дедуктивного правила принятия или выводного дедуктивного правила отвергания. Укажем еще два таких правила:

П.1. Если принимается утверждение A и принимается утверждение B , то принимается и утверждение $A \wedge B$ ($\wedge$ — знак конъюнкции). Это правило допускает распространение на любое (конечное) число утверждений.

П.2. Если отвергается утверждение A и отвергается утверждение B , то отвергается и утверждение $A \vee B$ ($\vee$ — знак дизъюнкции). Это правило также допускает распространение на любое (конечное) число утверждений.

Заметим, что не существует специальных дедуктивных правил сомнения (в явном виде они характерны лишь для недедуктивных эпистемических критериев). Однако здесь действует следующий общий принцип: если некоторое утверждение не принимается в силу дедуктивных правил принятия и не отвергается на основе дедуктивных правил отвергания, то оно подлежит дальнейшему изучению.

Простейшим примером выводных недедуктивных эпистемических критериев служат чисто вероятностные правила принятия, отвергания и сомнения. Для характеристики их рассмотрим формализованный язык L , в котором для любого h и любого e , отличного от противоречия ($h, e \in L$), определена условная вероятностная мера $P(,)$, удовлетворяющая следующим требованиям:

P1. $0 \leq P(h, e) \leq 1$

P2. $P(\sim h, e) = 1 - P(h, e)$

P3. Если $\vdash h$, то $P(h, e) = 1$ для любого e

(« $\vdash$ » — знак выводимости)

P4. Если $\vdash h_1 \rightarrow h_2$, то $P(h_1, e) \leq P(h_2, e)$ для любого e

P5. $P(h_1 \vee h_2, e) + P(h_1 \wedge h_2, e) = P(h_1, e) + P(h_2, e)$

P6. $P(h_1 \wedge h_2, e) = P(h_1, e) P(h_2, e \wedge h_1)$.

Пусть h и e — два утверждения из L такие, что: 1) утверждение e принадлежит системе знания, 2) изучается вопрос о том, имеются ли основания для включения в систему знания утверждения h . Назовем утверждение h гипотезой, e — свидетельством за или против этой гипотезы. Тогда чисто вероятностные выводные эпистемические критерии могут быть сформулированы следующим образом:

1) если $P(h, e) \geq 1 - \varepsilon$, то гипотеза h принимаема на основе свидетельства e ;

2) если $P(h, e) \leq \varepsilon$, то гипотеза h отвергаема на основе свидетельства e ;

3) если $\varepsilon < P(h, e) < 1 - \varepsilon$, то гипотеза h подлежит дальнейшему изучению.

Утверждение 1) формулирует здесь чисто вероятностное правило принятия (ВПП), утверждение 2) — чисто вероятностное правило отвергания (ВПО), утверждение 3) — чисто вероятностное правило сомнения (ВПС).

Величина ε играет в этих правилах роль параметра. Из P1 видно, что $0 \leq \varepsilon \leq 1$. Дальнейшее уточнение интервала допустимых значений этой величины может быть получено на основе следующего условия адекватности для системы знания:

(УА1) Всякая допустимая система знания должна быть непротиворечивой.

Из этого критерия следует, что любое допустимое правило принятия (в том числе и ВПП) должно удовлетворять следующему требованию: если утверждение A принимаемо, то утверждение $\sim A$ не может быть принято. Правило ВПП удовлетворяет этому критерию: если утверждение h принимаемо на основе свидетельства e по ВПП, то

$$P(h, e) \geq 1 - \varepsilon,$$

откуда

$$P(\sim h, e) \leq \varepsilon,$$

и утверждение $\sim h$ отвергаемо на основе свидетельства e по ВПО.

Если, однако, величина ε принимает любые значения из интервала $(0, 1)$, то может случиться так, что

$$\varepsilon > 1 - \varepsilon.$$

В этом случае гипотеза h и свидетельство e могут одновременно удовлетворять двум неравенствам:

$$P(h, e) \geq 1 - \varepsilon,$$

$$P(\sim h, e) \geq 1 - \varepsilon,$$

из которых следует, что гипотезы h и $\sim h$ обе принимаемы на основе свидетельства e . Это нарушает условие адекватности (УА1). Чтобы такое нарушение не имело места, необходимо (и достаточно) положить

$$\varepsilon < 1 - \varepsilon$$

или

$$\varepsilon < 1/2.$$

Таким образом, удовлетворение условию адекватности (УА1) предполагает сужение интервала возможных значений ε с $(0, 1)$ до $(0, 1/2)$.

Недедуктивное правило принятия ВПП (соответственно ВПО) имеет ряд общих черт с дедуктивными правилами принятия (отвержения). Так, из ВПП вытекает следствие: если гипотеза h принимаема на основе свидетельства e и r есть логическое следствие h , то r принимаемо на основе того же свидетельства.

Действительно, в силу P4,

$$P(h, e) \leq P(r, e).$$

Поэтому, если $P(h, e) \geq 1 - \varepsilon$, то и подалвно $P(r, e) \geq 1 - \varepsilon$.

Соответственно для ВПО имеем: если гипотеза h отвергаема на основе свидетельства e и r есть основание, из которого следует h , то r отвергаемо на основе этого свидетельства. В данном случае, снова в силу P4,

$$P(h, e) \geq P(r, e).$$

Поэтому, если $P(h, e) \leq \varepsilon$, то и подалвно $P(r, e) \leq \varepsilon$. В дальнейшем мы увидим, что между чисто вероятностными и дедуктивными эпистемическими критериями имеются и существенные различия.

Заметим, что вероятностное правило сомнения (ВПС) в одном пункте значительно отличается от ВПП и ВПО: если утверждение A подлежит сомнению на основе свидетельства e , то утверждение $\sim A$ также подлежит сомнению. В самом деле, если

$$\varepsilon < P(A, e) < 1 - \varepsilon,$$

то, в силу P2,

$$\varepsilon < P(\sim A, e) < 1 - \varepsilon.$$

Таким образом, хотя нельзя одновременно принять A и $\sim A$ на основе ВПП, нельзя одновременно отвергнуть A и $\sim A$ на основе ВПО, но можно одновременно сомневаться в A и $\sim A$ на основе ВПС.

Лотерейный парадокс

Легко показать, что не существует такого вероятностного правила принятия гипотезы, которое одновременно удовлетворяет (УА1) и П1.

Действительно, для любых A, B, E ($P(E) \neq 0$) справедливы вероятностные неравенства

$$P(A, E) \geq P(A \wedge B, E) \leq P(B, E).$$

Поэтому выполнение неравенств

$$P(A, E) \geq 1 - \varepsilon, \tag{1}$$

$$P(B, E) \geq 1 - \varepsilon, \tag{1'}$$

не гарантирует выполнение неравенства

$$P(A \wedge B, E) \geq 1 - \varepsilon.$$

Напротив, может оказаться

$$P(A \wedge B, E) < \varepsilon,$$

и, следовательно,

$$P(\sim(A \wedge B), E) \geq 1 - \varepsilon. \quad (1'')$$

В этом случае из (1) следует принятие гипотезы A , из (1') следует принятие гипотезы B и из (1'') — принятие гипотезы $\sim(A \wedge B)$. Но если допустить П1, то из принятия A и принятия B следует принятие $A \wedge B$. Таким образом, мы одновременно принимаем $A \wedge B$ и $\sim(A \wedge B)$, что нарушает (УА1). Аналогично можно показать, что при чисто вероятностном правиле отвергания гипотезы несовместимы (УА1) и П2.

Сказанное хорошо иллюстрирует так называемый лотерейный парадокс [3]. Пусть в некоторой лотерее имеется миллион билетов и только один выигрыш; каждый билет имеет вероятность выигрыша, равную 10^{-6} . Рассмотрим гипотезу h_i «билет i не выиграет» ($i = 1, 2, \dots, 10^6$). Вероятность ее равна $1 - 10^{-6}$, и если $\varepsilon > 10^{-6}$, то каждая из гипотез h_i принимаема на основе ВПП.

Согласно П1, в этом случае принимаема и конъюнкция всех гипотез, т. е. утверждение «ни один билет не выиграет». Но оно ложно, так как один билет обязательно выиграет. Это и есть лотерейный парадокс. Он возникает всегда, когда число билетов больше чем $1/\varepsilon$.

Лотерейный парадокс можно сформулировать и для правила отвергания. В этом случае рассмотрим гипотезу $\sim h_i$ «билет i выиграет». Вероятность ее равна 10^{-6} . Если $\varepsilon > 10^{-6}$, то каждая такая гипотеза отвергаема на основе ВПО. Согласно П2, тогда отвергаема и дизъюнкция всех этих гипотез, т. е. утверждение «по крайней мере один билет выиграет». Но оно имеет вероятность 1 и поэтому, в силу ВПП, принимаемо.

Были предложены различные решения лотерейного парадокса (см. обзор в [2]). Однако простейшее из них состоит, по-видимому, в замене П1 и П2 более слабыми правилами:

П1'. Если A принимаемо и B принимаемо, то $A \wedge B$ не обязательно принимаемо.

П2'. Если A отвергаемо и B отвергаемо, то $A \vee B$ не обязательно отвергаемо.

Эти правила кажутся «странными» по сравнению с П1 и П2. Однако они весьма полезны при неопределенных ситуациях. Покажем это на примере парадокса предсказания [4].

В воскресенье командир решил провести в следующую среду марш для своих солдат. Он не сообщил солдатам день марша, но сказал им, что на следующей неделе будет неожиданный марш,

т. е. такой марш, день наступления которого они не смогут предсказать заранее.

Простое рассуждение показывает, однако, что такого неожиданного марша, по-видимому, не может быть. В самом деле, этот марш не может быть назначен на последний день недели (в субботу), ибо утром в субботу солдаты могут обоснованно заключить (предсказать), что именно в этот день будет марш, поскольку осталась единственная возможность. Поэтому, если марш назначен на субботу, то он не будет неожиданным.

По той же причине неожиданный марш не может быть назначен и на пятницу. Действительно, утром в пятницу солдатам уже известно, что суббота отпадает и что, следовательно, марш должен быть назначен на пятницу. Поэтому марш, проведенный в пятницу, также не будет неожиданным. Аналогичное рассуждение показывает, что неожиданный марш не может произойти в четверг, среду, вторник и понедельник. Тем не менее марш произойдет, по решению командира, в среду, и (если солдаты не узнают заранее этот день из других источников) он будет для солдат неожиданным. Это и есть парадокс предсказания.

Решение парадокса предсказания может быть получено, если принять во внимание П2'. Обозначим через h_1 гипотезу «неожиданный марш может быть назначен на понедельник», через h_2 гипотезу «неожиданный марш может быть назначен на вторник» и т. д. Из приведенного выше рассуждения следует, что гипотеза h_6 «неожиданный марш может быть назначен на субботу» и гипотеза h_5 «неожиданный марш может быть назначен на пятницу» отвергаемы. Если принять П2, то из отвергания h_5 и отвергания h_6 следует отвергание $h_5 \vee h_6$. Тогда в четверг утром остается единственная возможность, выраженная гипотезой «неожиданный марш может быть назначен на четверг». Поэтому гипотеза h_4 также отвергаема.

Но если принять П2', то в четверг утром имеется не одна, а две возможности, выражаемые гипотезами h_4 и $h_5 \vee h_6$. Поскольку нельзя заранее узнать, какая из них будет иметь место, то неожиданный марш можно назначить на четверг. Тем более можно назначить его на среду, вторник и понедельник, что полностью согласуется с решением командира. Как видим, введение вероятностного правила отвергания позволяет успешно решить парадокс предсказания, который затруднительно решить другим способом.

Логика принятия и отвергания

Рассмотренные чисто вероятностные правила принятия и отвергания не являются полностью адекватными в том смысле, что они не принимают во внимание такие существенные факторы, как информативность гипотезы, ее простоту, объясняющую силу и т. д. Тем не менее некоторые существенные черты приобретения знания эти правила отражают и это оправдывает построение спе-

циальных логик принятия и отвергания, в которых приемлемость и отвергание имеют смысл, указанный в ВПП и ВПО.

Начнем с построения логики принятия. В целях упрощения будем опускать ссылку на свидетельство e .

Выражение « h принимается (на основе e)» обозначим символом Δh . Знак Δ есть одноаргументный оператор принятия гипотезы. Оператор отвергания гипотезы обозначим через O . Выражение, в которое входит знак Δ , будем называть Δ -выражением. Наша ближайшая задача — построение пропозициональной логики Δ -выражений, интерпретируемых с помощью ВПП.

Пусть A — произвольное пропозициональное выражение. Тогда ΔA означает в вероятностной интерпретации $P(A) \geq 1 - \varepsilon$, $\sim \Delta A$ означает $P(A) < \varepsilon$. Следующие определения позволяют говорить об этих выражениях в терминах истины и лжи.

Определение 1. Выражение ΔA истинно, если, и только если, A принимается. Выражение $\sim \Delta A$ истинно, если, и только если, A не принимается.

Определение 2. Выражение $\Delta A \vee \Delta B$ истинно, если, и только если, A принимается или B принимается; в вероятностных обозначениях истинность $\Delta A \vee \Delta B$ соответствует выполнению неравенства $\max |P(A), P(B)| \geq 1 - \varepsilon$. Таким образом, $\Delta A \vee \Delta B$ отличается от $\Delta(A \vee B)$, истинность которого равносильна выполнению условия $P(A \vee B) \geq 1 - \varepsilon$.

Определение 3. Выражение $\Delta A \wedge \Delta B$ истинно, если, и только если, A принимается и B принимается; в вероятностных терминах это соответствует неравенству $\min |P(A), P(B)| \geq 1 - \varepsilon$. Таким образом, $\Delta A \wedge \Delta B$ отличается от $\Delta(A \wedge B)$.

Определение 4. Выражение $\Delta A \rightarrow \Delta B$ ложно, если, и только если, A принимается, а B не принимается. Это позволяет считать

$$\Delta A \rightarrow \Delta B =_{df} \sim \Delta A \vee \Delta B.$$

Аналогично определим

$$\sim(\Delta A \rightarrow \Delta B) =_{df} \Delta A \wedge \sim \Delta B.$$

Вместо знака определения « $=_{df}$ » будем употреблять также символ материальной эквивалентности « $\leftrightarrow$ ».

Помимо $\Delta A \rightarrow \Delta B$, рассмотрим выражение $\vdash \Delta A \rightarrow \Delta B$, в котором исключается случай ложности $\Delta A \rightarrow \Delta B$: если A принимается, то B обязательно принимается. В вероятностных терминах этому соответствует неравенство $P(A) \leq P(B)$. Действительно, если $P(A) \geq 1 - \varepsilon$, то и подавно $P(B) \geq 1 - \varepsilon$.

Будем называть Δ -выражение истинным, если, и только если, оно истинно в силу определений 1—4. Тем самым Δ -выражение истинно, если, и только если, оно удовлетворяет принятой вероятностной интерпретации.

Из указанного понимания Δ следует, что модус поненс

$$\frac{\Delta A \rightarrow \Delta B, \Delta A}{\Delta B}, \quad \frac{A \rightarrow \Delta B, A}{\Delta B} \quad (\text{MP})$$

может быть принят в качестве правила вывода.

Кроме того, R_4 оправдывает следующее правило замены (ПЗ): если $A \rightarrow B$, то в любом Δ -выражении любое вхождение ΔA может быть заменено на ΔB (и наоборот) без нарушения его истинности.

Поскольку, далее, из $P(A) \leq P(B)$ и $P(B) \leq P(C)$ следует $P(A) \leq P(C)$, то имеем еще одно правило вывода (правило транзитивности — ПТ):

$$\frac{\Delta A \rightarrow \Delta B, \Delta B \rightarrow \Delta C}{\Delta A \rightarrow \Delta C}.$$

Все эти правила характеризуются тем, что, примененные к истинным Δ -выражениям, они снова дают истинные Δ -выражения.

Перейдем к синтаксическому построению Δ -исчисления. Прежде всего, дадим определение Δ -формулы:

- 1) если A — пропозициональная формула, то A есть Δ -формула;
- 2) если A — пропозициональная формула, то ΔA есть Δ -формула,
- 3) если P и Q — две Δ -формулы, то

$$\sim P, \sim Q, P \wedge Q, P \vee Q, P \rightarrow Q, P \leftrightarrow Q$$

также есть Δ -формулы.

- 4) нечто есть Δ -формула лишь в силу 1) — 3).

Из сказанного следует, что если ΔB есть Δ -формула, то B есть пропозициональная формула. Иначе говоря, итерирование знака Δ не допускается; $\Delta \Delta B$, $\Delta(A \vee \sim \Delta B)$ и т. д. не есть Δ -формулы.

В дальнейшем будем обозначать заглавными буквами начала латинского алфавита $A, B, C, \dots$ произвольные пропозициональные формулы, а заглавными буквами середины латинского алфавита $P, Q, R, \dots$ — произвольные Δ -формулы, отличные от пропозициональных:

определение 1' (01')	$P \rightarrow Q = df \sim P \vee Q$
определение 1" (01")	$\sim(P \rightarrow Q) = df P \wedge \sim Q$
определение 2' (02')	$P \leftrightarrow Q = df (P \rightarrow Q) \wedge (Q \rightarrow P)$

Будем также предполагать, что в нашем распоряжении имеется любая тавтология t классического пропозиционального исчисления. (Вместо этого можно просто выписать любую систему аксиом классического пропозиционального исчисления и соответствующие им правила вывода.)

Схемами-аксиомами Δ -исчисления служат следующие утверждения:

$$\text{B1. } t \rightarrow \Delta t$$

Вместо t здесь может быть подставлена любая пропозициональная тавтология.

$$B2. P \vee Q \leftrightarrow Q \vee P$$

$$B3. P \wedge Q \rightarrow P, P \wedge Q \rightarrow Q$$

$$B4. \Delta A \rightarrow \sim \Delta \sim A$$

$$B5. P \leftrightarrow \sim \sim P$$

$$B6. (\vdash A \rightarrow B) \rightarrow (\Delta A \rightarrow \Delta B)$$

Δ -исчисление имеет следующие исходные правила вывода:

1) модус поненс (МР):

$$\frac{P \rightarrow Q, P}{Q}, \quad \frac{A \rightarrow Q, A}{Q};$$

2) правило замены (ПЗ): если $P \leftrightarrow Q$ или $P =_d Q$, то в любом Δ -выражении любое из вхождений P может быть заменено на Q и любое из вхождений Q может быть заменено на P ;

3) правило подстановки (ПП): в любой Δ -формуле 1) вместо всех вхождений A ($B, C, \dots$) может быть подставлена любая (одна и та же) пропозициональная формула, 2) вместо всех вхождений P ($Q, R, \dots$) может быть подставлена любая (одна и та же) Δ -формула;

4) правило транзитивности (ПТ):

$$\frac{P \rightarrow Q, Q \rightarrow R}{P \rightarrow R}.$$

Из ПТ и 02' получаем производное правило вывода:

$$\frac{P \leftrightarrow Q, Q \leftrightarrow R}{P \leftrightarrow R}. \quad (\text{ПЭ1})$$

Другое производное правило вывода получается из B6, МР и 02':

$$\frac{A \leftrightarrow B}{\Delta A \leftrightarrow \Delta B}.$$

Укажем некоторые теоремы Δ -исчисления.

T1. Δt , т. е. все тавтологии пропозиционального исчисления принимаемы.

Доказательство:

$$1) t \rightarrow \Delta t$$

B1

$$2) t$$

пропозициональная тавтология

$$3) \Delta t$$

из 1) и 2) по МР

T2. $\sim \Delta \sim t$, т. е. никакое логическое (пропозициональное) противоречие не может быть принято.

Доказательство:

- | | |
|---------------------------------------|------------|
| 1) $t \rightarrow \sim \Delta \sim t$ | B4 |
| 2) t | |
| 3) $\sim \Delta \sim t$ | 1), 2), MP |

Т3. $\Delta A \rightarrow \Delta (A \vee B)$

Доказательство:

- | | |
|---|------------|
| 1) $(\vdash A \rightarrow A \vee B) \rightarrow (\Delta A \rightarrow \Delta (A \vee B))$ | B6 |
| 2) $\vdash A \rightarrow A \vee B$ | |
| 3) $\Delta A \rightarrow \Delta (A \vee B)$ | 1), 2), MP |

Т4. $\Delta (A \wedge B) \rightarrow \Delta A$

Доказательство:

- | | |
|---|------------|
| 1) $(\vdash A \wedge B \rightarrow A) \rightarrow (\Delta (A \wedge B) \rightarrow \Delta A)$ | B6 |
| 2) $\vdash A \wedge B \rightarrow A$ | |
| 3) $\Delta (A \wedge B) \rightarrow \Delta A$ | 1), 2), MP |

Т3 и Т4 иллюстрируют общий принцип: если принимается какое-либо утверждение, то принимается и любое его следствие.

Т5. $(\vdash A \vee B) \rightarrow \sim \Delta \sim A \vee \Delta B$

Доказательство:

- | | |
|---|-----------------|
| 1) $(\vdash \sim A \rightarrow B) \rightarrow (\Delta \sim A \rightarrow \Delta B)$ | B6 |
| 2) $(\vdash A \vee B) \rightarrow (\sim \Delta \sim A \vee \Delta B)$ | 1), 01', B5, ПЗ |

Т6. $\Delta A \rightarrow \Delta A$ (закон тождества)

Доказательство:

- | | |
|---|------------|
| 1) $(\vdash A \rightarrow A) \rightarrow (\Delta A \rightarrow \Delta A)$ | B6 |
| 2) $\vdash A \rightarrow A$ | |
| 3) $\Delta A \rightarrow \Delta A$ | 1), 2), MP |

Т7. $\Delta A \vee \sim \Delta A$ (закон исключенного третьего)

Доказательство:

- | | |
|------------------------------------|---------|
| 1) $\Delta A \rightarrow \Delta A$ | T6 |
| 2) $\sim \Delta A \vee \Delta A$ | 1), 01' |
| 3) $\Delta A \vee \sim \Delta A$ | 2), B2 |

Т8. $(P \rightarrow Q) \leftrightarrow (\sim Q \rightarrow \sim P)$

Доказательство:

- | | |
|--|-------------|
| 1) $(P \rightarrow Q) \leftrightarrow (\sim P \vee Q)$ | 01' |
| 2) $(\sim P \vee Q) \leftrightarrow (Q \vee \sim P)$ | B2 |
| 3) $(\sim P \vee Q) \leftrightarrow (\sim \sim Q \vee \sim P)$ | 2), B5, ПЗ |
| 4) $(\sim P \vee Q) \leftrightarrow (\sim Q \rightarrow \sim P)$ | 3), 01' |
| 5) $(P \rightarrow Q) \leftrightarrow (\sim Q \rightarrow \sim P)$ | 1), 4), ПЭ1 |

Из Т8 и МР получаем производные правила вывода:

$$\frac{P \rightarrow Q}{\sim Q \rightarrow \sim P} \quad (\text{ПЭ2})$$

$$\frac{P \leftrightarrow Q}{\sim P \leftrightarrow \sim Q} \quad (\text{ПЭ3})$$

Т9. $(\vdash A \rightarrow B) \rightarrow (\sim \Delta B \rightarrow \sim \Delta A)$

Доказательство:

- | | |
|--|------------|
| 1) $(\vdash A \rightarrow B) \rightarrow (\Delta A \rightarrow \Delta B)$ | B6 |
| 2) $(\Delta A \rightarrow \Delta B) \rightarrow (\sim \Delta B \rightarrow \sim \Delta A)$ | Т8 |
| 3) $(\vdash A \rightarrow B) \rightarrow (\sim \Delta B \rightarrow \sim \Delta A)$ | 1), 2), ПТ |

Т10. $\sim (P \vee Q) \leftrightarrow \sim P \wedge \sim Q$

Доказательство:

- | | |
|--|-----------------|
| 1) $(\sim P \rightarrow Q) \leftrightarrow (\sim Q \rightarrow P)$ | Т8 |
| 2) $\sim (\sim P \rightarrow Q) \leftrightarrow \sim (\sim Q \rightarrow P)$ | 1), ПЭ3 |
| 3) $\sim (P \vee Q) \leftrightarrow \sim (\sim Q \rightarrow P)$ | 2), 01', B5, ПЗ |
| 4) $\sim (P \vee Q) \leftrightarrow (\sim Q \wedge \sim P)$ | |

Т11. $(P \wedge Q) \leftrightarrow (Q \wedge P)$

Доказательство:

- | | |
|--|---------|
| 1) $(P \vee Q) \leftrightarrow (Q \vee P)$ | B2 |
| 2) $\sim (P \vee Q) \leftrightarrow \sim (Q \vee P)$ | 1), ПЭ3 |
| 3) $(\sim P \wedge \sim Q) \leftrightarrow (\sim Q \wedge \sim P)$ | 2), Т10 |
| 4) $(P \wedge Q) \leftrightarrow (Q \wedge P)$ | 3), ПП |

Т12. $P \rightarrow P \vee Q$

Доказательство:

- | | |
|--|---------|
| 1) $P \wedge Q \rightarrow P$ | B3 |
| 2) $\sim P \rightarrow \sim (P \wedge Q)$ | 1), ПЭ2 |
| 3) $\sim P \rightarrow \sim P \vee \sim Q$ | 2), Т10 |
| 4) $P \rightarrow P \vee Q$ | 3), ПП |

Т13. $\sim (\Delta A \wedge \sim \Delta A)$ (первый закон противоречия)

Доказательство:

- | | |
|---|------------|
| 1) $\Delta A \vee \sim \Delta A$ | T7 |
| 2) $\sim \sim (\Delta A \vee \sim \Delta A)$ | 1), B5, ПЗ |
| 3) $\sim (\sim \Delta A \wedge \sim \sim \Delta A)$ | 2), T10 |
| 4) $\sim (\sim \Delta A \wedge \Delta A)$ | 3), B5, ПЗ |
| 5) $\sim (\Delta A \wedge \sim \Delta A)$ | 4), T11 |

T14. $\sim (\Delta A \wedge \Delta \sim A)$ (второй закон противоречия)

Доказательство:

- | | |
|--|---------|
| 1) $\Delta A \rightarrow \sim \Delta \sim A$ | B4 |
| 2) $\sim \Delta A \vee \sim \Delta \sim A$ | 1), 01' |
| 3) $\sim (\Delta A \wedge \Delta \sim A)$ | 2), T10 |

Сделаем некоторые замечания относительно построенного исчисления.

Замечание 1. Все аксиомы B1 — B6 являются истинными Δ -выражениями. Это непосредственно следует из указанного вероятностного смысла знака принятия Δ , определения логических связок и аксиом вероятности P1 — P6.

Поскольку, как было сказано, все исходные правила вывода переводят истинные Δ -выражения в истинные, то всякое доказуемое в Δ -исчислении утверждение истинно. Из этого следует непротиворечивость Δ -исчисления в том смысле, что никакое утверждение не может быть доказано в нем вместе с его отрицанием.

Построенное исчисление, однако, не является полным в том смысле, что некоторые истинные (быть может, истинные лишь при более узком, чем $(0, 1/2)$, интервале возможных значений ϵ) Δ -утверждения недоказуемы в нем. Примером может служить выражение

$$\Delta(A \vee B) \rightarrow \sim \Delta \sim A \vee \sim \Delta \sim B,$$

которое не истинно при $0 < \epsilon < 1/2$, но истинно при $0 < \epsilon < 1/3$ (см. [5]). Поскольку принятые нами аксиомы и правила вывода справедливы и при $0 < \epsilon < 1/3$, то указанное утверждение можно присоединить к B1 — B6 в качестве новой независимой аксиомы.

Таким образом, построенное исчисление допускает возможность непротиворечивого расширения.

Замечание 2. Из равносильности неравенств $P(p) \geq 1 - \epsilon$ и $P(\sim p) < \epsilon$ следует тождество $\Delta p \leftrightarrow O \sim p$ (т. е. принятие p равносильно отверганию $\sim p$). Это позволяет по каждой тавтологии логики принятия построить соответствующую ей тавтологию логики отвергания, т. е. логики, которая сопоставляет пропозициональным формулам не знак принятия Δ , а

знак отвергания O . Для этого достаточно заменить ΔA всюду, где она встречается, на $O \sim A$, то же сделать с ΔB , и т. д.

Логику отвергания можно строить и независимо от логики принятия. Укажем следующие ее возможные аксиомы:

- B1'. $t \rightarrow O \sim t$
- B2'. $P \vee Q \leftrightarrow Q \vee P$
- B3'. $P \wedge Q \rightarrow P, P \wedge Q \rightarrow Q$
- B4'. $OA \rightarrow \sim O \sim A$
- B5'. $P \leftrightarrow \sim \sim P$
- B6'. $(\vdash A \rightarrow B) \rightarrow (OB \rightarrow OA)$

Здесь P и Q — произвольные формулы логики отвергания. Исходными правилами вывода в O -исчисления являются модус поненс, правило замены, правило подстановки и правило транзитивности, в формулировке которых знак Δ заменен знаком O .

Для примера докажем две теоремы логики отвергания.

T1. $\sim Ot$, т. е. никакая (пропозициональная) тавтология не отвергается.

Доказательство:

- 1) $O \sim t \rightarrow \sim Ot$ B4', B5'
- 2) $O \sim t$ B1', t , МР
- 3) $\sim Ot$ 1), 2), МР

T2. $OA \rightarrow O(A \wedge B)$

Доказательство:

- 1) $\vdash A \wedge B \rightarrow A$
- 2) $(\vdash A \wedge B \rightarrow A) \rightarrow (OA \rightarrow O(A \wedge B))$ 1), B6'
- 3) $OA \rightarrow O(A \wedge B)$ 1), 2), МР

Поскольку A логически следует из $A \wedge B$, то эта теорема есть частный случай общего методологического правила: если отвергается некоторая гипотеза, то отвергается и основание, из которого она следует. В научной практике, однако, в таких случаях обычно не полностью отказываются от основания, но несколько модифицируют его.

Замечание 3. Построенные логики принятия и отвергания таковы, что утверждения

$$\begin{aligned}\Delta A \wedge \Delta B &\rightarrow \Delta(A \wedge B) \\ OA \vee OB &\rightarrow O(A \vee B)\end{aligned}$$

не являются их теоремами. Действительно, эти утверждения не обязательно истинны в принятой вероятностной интерпретации, что легко усматривается из определения ВПП, ВПО

и вероятностных неравенств

$$P(A) \geq P(A \wedge B) \leq P(B)$$

$$P(A) \leq P(A \vee B) \geq P(B).$$

Если мы желаем принять указанные утверждения, то следует отказаться от чисто вероятностного характера правила принятия (отвергания) гипотезы.

Смешанные эпистемические критерии

Пусть исследователь X при изучении гипотезы h получил определенное свидетельство e . Тогда, как было отмечено, в распоряжении X имеются три возможности: принять h , отвергнуть h и продолжать изучение h . Пусть X интересуется только тем, что утверждает гипотеза (т. е. содержанием гипотезы) и истинно ли то, что она утверждает. Тогда каждому из возможных действий X может быть приписана определенная полезность, которая зависит только от содержания h и от ее истинности или ложности. Полезности такого рода назовем эпистемическими, т. е. относящимися к системе знания. Подчеркнем, что полезности мы относим к действиям исследователя, а не к гипотезам.

Чтобы свободно оперировать эпистемическими полезностями, необходимо принять некоторые соглашения относительно их природы. Первое из этих соглашений гласит: полезности действий исследователя могут быть выражены произвольными действительными числами (в том числе и отрицательными), но при этом должно выполняться условие — чем выше полезность действия, тем больше число, выражающее эту полезность.

Если полезность действия A меньше полезности действия B , то число, выражающее полезность A , меньше числа, выражающего полезность B . Если действия A и B одинаково полезны, то выражающие их полезность числа должны быть равны.

Если некоторое действие в некоторой данной ситуации бесполезно, то ему можно приписать полезность, выраженную числом нуль. В таком случае всем действиям с меньшей полезностью будут соответствовать отрицательные числа.

С интуитивной точки зрения отрицательные числа соответствуют скорее «вредности», чем полезности. Однако правила действия над отрицательными полезностями будут совпадать у нас с правилами действия над положительными полезностями, поэтому в данном случае нет оснований для введения двух различных понятий. Термин «вредно» можно рассматривать как сокращение для «менее полезно, чем любое бесполезное действие».

Введем следующие обозначения: $\Pi(h, h_{\text{и}})$ — полезность принятия гипотезы h при условии, что она истинна; $\Pi(h, h_{\text{л}})$ — полез-

ность принятия гипотезы h при условии, что она ложная; $\Pi(\sim h, h_{\text{н}})$ — полезность отвергания гипотезы h при условии, что она истинна; $\Pi(\sim h, h_{\text{л}})$ — полезность отвергания гипотезы h при условии, что она ложная; $\Pi C(h)$ — полезность сомнения в h .

Примем два соглашения о симметричности полезности:

$$\Pi(h, h_{\text{н}}) = \Pi(\sim h, h_{\text{л}})$$

$$\Pi(h, h_{\text{л}}) = \Pi(\sim h, h_{\text{н}}).$$

Поскольку любой честный исследователь предпочитает истинную ошибку, то должно выполняться неравенство

$$\Pi(h, h_{\text{н}}) > \Pi(h, h_{\text{л}}), \quad (2)$$

и, следовательно, неравенство

$$\Pi(\sim h, h_{\text{л}}) > \Pi(\sim h, h_{\text{н}}). \quad (2')$$

Сомнение $\Pi C(h)$ занимает промежуточное положение по величине ценности.

Введем также понятия средней полезности $E(h|e)$ принятия гипотезы h на основе свидетельства e и средней полезности $E(\sim h|e)$ отвергания гипотезы h на основе свидетельства e . Гипотеза h является в действительности либо истинной, либо ложной. В первом случае полезность ее принятия равна $\Pi(h, h_{\text{н}})$, во втором она равна $\Pi(h, h_{\text{л}})$. Поэтому в качестве средней полезности принятия гипотезы h на основе свидетельства e (когда неизвестно, истинна она или ложна) естественно взять взвешенную сумму обеих полезностей, где веса полезностей совпадают с вероятностью гипотезы оказаться истинной и соответственно ложной (относительно свидетельства e). В результате имеем

$$E(h|e) = \Pi(h, h_{\text{н}}) P(h, e) + \Pi(h, h_{\text{л}}) P(\sim h, e). \quad (3)$$

Аналогичным рассуждением получаем

$$E(\sim h|e) = \Pi(\sim h, h_{\text{н}}) P(h, e) + \Pi(\sim h, h_{\text{л}}) P(\sim h, e). \quad (3')$$

Для сомнения в h мы не вводим понятия средней полезности. Сомнение в h означает, что гипотеза h не принимается и не отвергается (и, следовательно, гипотеза $\sim h$ не отвергается и не принимается). Поэтому, чтобы в случае сомнения имело место какое-то действие, скажем, что при сомнении в h принимается тавтология $h \vee \sim h$. Но, поскольку вероятность тавтологии равна 1, то средняя полезность сомнения в h совпадает с $\Pi C(h)$.

После определения средних эпистемических полезностей можно рекомендовать исследователю придерживаться основного принципа байесовской теории решений: следует выбирать действие с наибольшей средней полезностью. Тогда гипотеза h принимается на основе свидетельства e (и, следовательно, может быть включена

в систему знания, если e принадлежит этой системе), если, и только если, имеют место неравенства

$$ПС(h) < E(h|e) > E(\sim h|e);$$

гипотеза h отвергаема на основе свидетельства e , если, и только если, имеют место неравенства

$$ПС(h) < E(\sim h|e) > E(h|e)$$

Для построения конкретных правил принятия и отвергания, соответствующих этим неравенствам, используем еще два условия адекватности:

(УА2) средняя полезность принятия и отвергания гипотезы должны зависеть не только от вероятности гипотезы относительно свидетельства, но и от содержательности гипотезы.

(УА3) приемлемость или отвергаемость гипотезы h на основе свидетельства e должна зависеть не только от данной гипотезы h и данного свидетельства e , но и от совокупности всех гипотез, конкурентных с h .

Чтобы удовлетворить условно (УА2), необходимо ввести меру содержания гипотезы, или меру семантической информации. Следуя И. Бар-Хиллелу и Р. Карнапу [1], рассмотрим меру семантической информации cont :

$$\text{cont}(h) = 1 - P(h),$$

где безусловная вероятностная мера $P(h)$ может быть определена с помощью условной вероятностной меры посредством равенства

$$P(h) = P(h, t), \quad t \text{ — тавтология}$$

Используя меру семантической информации cont , запишем значение эпистемических полезностей в виде (см. [2]):

$$\begin{aligned} \Pi(h, h_n) &= \bar{\Pi}(\sim h, h_n) = \text{cont}(h) \\ \Pi(h, h_n) &= \Pi(\sim h, h_n) = -\text{cont}(\sim h) \\ \text{ПС}(h) &= 0, \end{aligned} \tag{5}$$

откуда

$$E(h|e) = \text{cont}(h) P(h, e) - \text{cont}(\sim h) P(\sim h, e) = P(h, e) - P(h); \tag{6}$$

$$\begin{aligned} E(\sim h|e) &= -\text{cont}(\sim h) P(h, e) + \text{cont}(h) P(\sim h, e) = \\ &= P(\sim h, e) - P(h). \end{aligned} \tag{6'}$$

В предположении, что $P(h) \neq P(\sim h)$, например,

$$P(h) > P(\sim h) \tag{7}$$

можно, используя указанные значения для $E(h|e)$ и $E(\sim h|e)$ и

правило максимизации средней полезности, доказать следующее утверждение.

ПЗ. Если $P(h, e) > P(h)$, то гипотеза h принимаема на основе свидетельства e ; если $P(h, e) < P(h)$, то гипотеза h отвергаема на основе свидетельства e ; наконец, если $P(h, e) = P(h)$, то гипотеза h требует дополнительного изучения.

Действительно, пусть имеет место неравенство (7). Тогда, если $E(h|e) > 0$, то $E(\sim h|e) < 0$, а если $E(\sim h|e) > 0$, то $E(h|e) < 0$. В самом деле, пусть $E(h|e) > 0$, тогда

$$P(h, e) > P(h)$$

$$P(\sim h, e) < P(\sim h),$$

откуда в силу (7)

$$P(\sim h, e) < P(h)$$

и

$$E(\sim h|e) < 0$$

Напротив, если $E(\sim h|e) > 0$, то

$$P(\sim h, e) > P(h)$$

$$P(\sim h, e) > P(\sim h)$$

$$P(h, e) < P(h)$$

$$E(h|e) < 0$$

Для получения ПЗ теперь остается лишь применить принцип максимизации средней полезности. Такое правило выбора гипотезы лучше чисто вероятностного правила в том отношении, что теперь приемлемость h на основе e зависит не от абсолютной величины условной вероятности $P(h, e)$, а от того, возрастает или нет вероятность h при добавлении e в качестве свидетельства для h .

Для удовлетворения условию адекватности (УАЗ), рассмотрим некоторое множество H гипотез, которому принадлежит подмножество $B \subset H$ гипотез, обладающих следующими свойствами:

- 1) элементы B попарно несовместимы и дизъюнкция их логически истинна;
- 2) всякий элемент из множества $H - B$ эквивалентен дизъюнкции некоторых элементов из B .

Таким образом, гипотезы, принадлежащие B , являются самыми сильными в H .

Положим $B = \langle b_1, b_2, \dots, b_p \rangle$. Если получено новое свидетельство e , то некоторые гипотезы $b_i \in B$, $i = 1, \dots, p$ могут оказаться несовместимыми с e . Поэтому множество B заменяем множеством B_e тех гипотез из B , которые совместимы с e . Множество B_e определяет множество $H_e \subset H$. Теоретико-множественная разность $H - H_e$ состоит в точности из тех гипотез, которые исключаются свидетельством e . Из множества H_e теперь следует выбрать гипотезу h^* , приемлемую на основе свидетельства e .

Пусть h — произвольная гипотеза из H_e . Тогда, в силу строения H_e , $h \leftrightarrow b_{i_1} \vee b_{i_2} \vee \dots \vee b_{i_k}$, где $b_{i_1}, \dots, b_{i_k} \in B_e$, и средняя полезность принятия этой гипотезы на основе свидетельства e равна

$$E(h|e) = \sum_j (P(b_j, e) - P(b_j)), \quad j = i_1, \dots, i_k \quad (8)$$

Будем рассматривать h как переменную, пробегающую по всем элементам H_e . Тогда для различных h и одного и того же e величина $E(h|e)$ принимает различные числовые значения. Согласно правилу максимизации средней полезности, принимаемая гипотеза h^* должна удовлетворять равенству

$$E(h^*|e) = \max.$$

С другой стороны, сумма вида (8) не может быть максимальной, если она содержит отрицательные слагаемые, т. е. если существуют такие j , что $P(b_j, e) < P(b_j)$. Это приводит к следующему правилу принятия и отвергания гипотезы $h \in H$.

П4. Отвергай все $b_i \in B_e$, удовлетворяющие неравенству

$$P(b_i, e) < P(b_i),$$

и принимай дизъюнкцию всех элементов из B_e , удовлетворяющих неравенству

$$P(b_i, e) > P(b_i)$$

в качестве h^* .

Приемлемость гипотезы на основе П4 зависит от выбора подмножества $B \subset H$. Рассмотрим следующий пример.

Пусть

$$B = \langle b_1, b_2, b_3 \rangle, \quad P(b_1) = 0,3; \quad P(b_2) = 0,4; \quad P(b_3) = 0,3;$$

$$P(b_1, e) = 0,4; \quad P(b_2, e) = 0,2; \quad P(b_3, e) = 0,4.$$

Поскольку в этом случае

$$P(b_1, e) > P(b_1), \quad P(b_2, e) < P(b_2), \quad P(b_3, e) > P(b_3),$$

то согласно П4

$$h^* \leftrightarrow b_1 \vee b_3.$$

Заменим теперь B на $B' = \langle b_1, b_2 \vee b_3 \rangle$, оставив все остальное без изменения. Тогда

$$P(b_1, e) > P(b_1), \quad P(b_2 \vee b_3, e) < P(b_2 \vee b_3),$$

откуда, согласно П4,

$$h^* \leftrightarrow b_1.$$

Поскольку подмножество B характеризует все гипотезы из множества H , то изменение B равносильно изменению всех гипотез, конкурентных с данной гипотезой h . Поэтому зависимость наиболее приемлемой на основе свидетельства e гипотезы от выбора подмножества B можно рассматривать как показатель того, что П4 удовлетворяет условию адекватности (УАЗ).

Тот факт, что приемлемость гипотезы h на основе свидетельства e (когда e принадлежит нашему знанию и из e логически не следует h) зависит от характеристики всех конкурентных с h гипотез, подчеркивает системный характер процедуры выбора гипотезы. Сказанное полностью относится и к другим эпистемическим критериям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bar-Hillel Y., Carnap R. Semantic information.— «The British Journal for the Philosophy of Science», 1953, v. 4, N 14.
2. Hilpinen R. Rules of acceptance and inductive logic.— «Acta philosophica Fennica», 1968, v. 22.
3. Kyburg H. Probability and logic of rational belief. N. Y., 1961.
4. Meltzer B., Good I. J. Two forms of the prediction paradox.— «The British Journal for the Philosophy of Science», 1965, v. 16, N 61.
5. Williams P. M. The structure of acceptance and its evidential basis.— «The British Journal for the Philosophy of Science», 1969, v. 19, N 77.

ТЕКТОЛОГИЯ: ИСТОРИЯ И ПРОБЛЕМЫ

А. Л. ТАХТАДЖЯН

*Никто не отыщет природу вещи в самой вещи,
изыскание должно быть расширено до более общего.*

Ф. Бэкон

Введение

Одной из характерных особенностей современной науки является возрастающая тенденция к сближению самых различных и далеких друг от друга областей знания. Наряду с идущей далее дифференциацией науки, происходит ее постепенная интеграция, основанная на объединении научных методов и на установлении общих закономерностей. Все чаще наблюдается стремление к постановке общих задач, объединяющих часто очень далекие друг от друга области знания; постепенно вырабатываются общие понятия и идеи и общий язык и терминология. Человеческое знание, раздробленное специализацией, вновь начинает объединяться.

Поэтому для передового фронта современной науки характерен все усиливающийся интерес к поискам принципиальной структурной общности самых разнородных систем и общих механизмов самых различных явлений. Идея структурного единства мира, выражающаяся в гомоморфизме и даже изоморфизме самых различных классов явлений, все глубже овладевает современным научным мышлением. Однако необходимость объединения раздробленного человеческого знания сознается еще далеко не всеми. Это объясняется узкой специализацией большинства современных ученых, их своеобразной «цеховой» ограниченностью. По меткому выражению Винера [12, стр. 12], всякий вопрос, сколько-нибудь выходящий за узкие пределы своей специальности, «такой ученый чаще всего будет рассматривать как нечто, относящееся к коллеге, который работает через три комнаты дальше по коридору».

Для специализированного и ограниченного научного мышления самое сильное возражение против общих теорий очень высокого уровня общности есть именно их всеобщность, их предельная аб-

страктность. Однако необходимость создания общей теории любых структур и систем вытекает из самой логики развития науки и выдвигается на повестку дня также современной техникой. Поэтому к идее общей теории организации или общей теории систем приходят по самым различным линиям науки и практики. По мнению М. Месаровича [30, стр. 15—16], эта теория вызывает не один только чисто научный интерес: «Привлечение такой теории необходимо для решения некоторых важных с практической точки зрения задач. В связи с этим построение такой теории стало делом первостепенной важности. Например, в технике (в самом широком смысле этого слова) ощущается необходимость в общей теории, преодолевающей границы специализации и позволяющей создавать системы, охватывающие и людей, и вычислительную технику, и исполнительные механизмы».

Совершенно аналогичные идеи высказал почти 60 лет назад создатель «всеобщей организационной науки» А. А. Богданов*, который назвал ее тектологией (от греч. *tektōn* — строитель), заимствовав этот термин из «Генеральной Морфологии» Э. Геккеля.

* Как известно, фигура А. А. Богданова является исключительно сложной и противоречивой. Значительная часть жизни, посвященная Богдановым политической деятельности, отмечена одновременно и страстной революционностью, и весьма серьезными ошибками. Благодаря беспощадной ленинской критике советский читатель хорошо знает о тяжелых заблуждениях Богданова в сфере философии и культуры.

Но А. А. Богданов, медик по образованию, был не только политическим деятелем и философом. Он много внимания уделял чисто научным проблемам. Эта сторона его деятельности, гораздо менее широко известная современному читателю, выразилась в двух основных формах: Богданов был организатором и первым руководителем Института переливания крови, созданного в СССР в 1926 г., а также создателем тектологии — весьма оригинальной общенаучной концепции, исторически первого развернутого варианта общей теории систем.

Отрицательно и даже враждебно встреченная многими современниками, нередко видевшими в ней лишь проекцию эмпириомонизма, тектология только в наши дни стала привлекать внимание ученых и с годами вызывает все более широкий интерес. Свидетельством этому служат как упоминаемые А. Л. Тахтаджяном работы ряда советских авторов, так и некоторые другие статьи, в частности «Тектология» («Философская энциклопедия», т. 5. М., 1970), а также «Богданов А. А.» (БСЭ, изд. 3, т. 3. М., 1970).

Следует подчеркнуть, что современные советские исследователи весьма далеки от какой бы то ни было идеализации тектологии. Напротив, они показывают ее отрицательные моменты, уходящие корнями в старые философские ошибки Богданова, в свойственные его мировоззрению довольно сильные элементы механицизма и позитивизма. Махистское прошлое Богданова наиболее ясно чувствуется во вводных главах первой части «Тектологии». Нельзя, конечно, не учитывать и того, что созданием всеобщей организационной науки ее автор хотел как бы бросить вызов марксизму, выдвинув в противовес ему концепцию, которая претендует на универсальность. Это была серьезная ошибка: никакая теория организации не может подменить философской методологии, имеющей свой особый предмет и особые методы. Однако это субъективное стремление Богданова вступило в противоречие с логикой рассматриваемых им конкретных методологических (а не философских!) проблем; следуя этой последней, Богданов и сумел сформулировать ряд соображений и идей, до сих пор сохраняющих конструктивное значение для развития общей теории организации.

Статья А. Л. Тахтаджяна преследует прежде всего цель выявления и развития той реальной общесистемной проблематики, которая была систематически изложе-

Первые попытки установления универсальных научных принципов

Необходимость изучения общих структурных закономерностей разнородных явлений сознавалась уже давно, и уже давно научная мысль стремилась к выяснению структурного единства окружающего нас мира. Но в прошлом эта задача считалась скорее философской, чем научной. Вспомним хотя бы идею универсальной символики Лейбница и его идею о *Mathesis Universalis*. Из попыток подобного рода надо упомянуть некоторые идеи, сформулированные Гербертом Спенсером. В своих «Основных началах» он стремился дать «высшие обобщения новейшей науки, истинные не только для одного порядка явлений, но и для всех порядков, и могущие поэтому служить для объяснения всех порядков явлений» [40]. По мнению Спенсера, объединение знания должно происходить путем подведения менее широких классов явлений под более широкие. Ряд выдвинутых им принципов и обобщений не утратил своего значения и для современной науки. Некоторые из них, как, например, его принципы дифференциации и интеграции, являются в сущности всеобщими и должны быть использованы при построении общей теории систем.

Начиная с последних десятилетий прошлого века все чаще появляются попытки универсализации тех или иных научных принципов, сформулированных первоначально лишь в качестве частных законов. Исследователи стремятся отвлечься от разнообразия конкретных форм, чтобы найти за ними ядро единой «принципиальной схемы». Так, в 1906 г. русский кристаллограф Е. С. Федоров [46], а в 1911 г. американский химик В. Банкрофт [60] выступают с идеей, что принцип Ле Шателье в физической химии является в действительности универсальным, причем Банкрофт посвящает ему специальную статью. Под разными названиями он известен в разных областях науки, пишет Банкрофт. Химики называют его теоремой Ле Шателье. Физики называют его теоремой Де Мопертью, или принципом наименьшего действия. Биологам он

на автором тектологии. Здесь подробно рассматривается вопрос о предшественниках тектологии и обращено внимание на то, что системные обобщения впервые начали формулироваться в наше время именно представителями отечественной науки, прежде всего выдающимся кристаллографом Е. С. Федоровым и физиологом Н. А. Беловым.

Публикуя статью А. Л. Тахтаджяна, редколлегия ежегодника отдает себе отчет в том, что эта статья не содержит окончательных решений и оценок. Вместе с тем мы полагаем, что публикация работы А. Л. Тахтаджяна позволит, последовательно проводя принцип партийности в отношении к философским идеям Богданова, в то же время вычленив конструктивные моменты в его научном наследии и перевести обсуждение тектологии и поднятых в ней проблем на уровень конкретного анализа. Это, несомненно, будет способствовать более глубокому пониманию сущности и истории системного подхода (Редколлегия).

известен как закон о выживании наиболее приспособленных, в то время как бизнесмен говорит о законе предложения и спроса. Самое широкое его определение таково: система стремится к изменению таким образом, чтобы свести к минимуму внешнее нарушение. Банкрофт приводит многочисленные примеры, иллюстрирующие универсальность закона. По его мнению, этот закон дает возможность коррелировать старые факты и открывать новые.

Многими доказывалась также универсальность принципа отбора, установленного, как известно, сначала в биологии (если не считать натурфилософской концепции отбора у Эмпедокла). Особенно интересны в этом отношении работы Джорджа Дарвина (1905—1909), который указывал на плодотворность перенесения некоторых элементарных понятий эволюции далеко за пределы биологии — в физику, астрономию и т. д. Приняв за центральную идею естественного отбора принцип устойчивости жизненных форм, приспособленных к среде, и неустойчивости неприспособленных, он прилагает этот принцип к таким разнородным системам, как атом и солнечная система. Законы, регулирующие устойчивость, по мнению Дж. Дарвина, выраженному им в книге «Приливы...» [15], — прочно установлены в самых разнообразных областях, они приложимы и к движениям планет вокруг солнца, и к внутреннему расположению тех мельчайших частичек, из которых построен каждый химический атом, и к формам небесных тел. Он полагает, что аналогичные концепции приложимы и при анализе изменений различных форм органической жизни, а также и в других областях знаний. По словам Норберта Винера [см. 12, стр. 55], в теории приливной эволюции Дж. Дарвина, как и в теории происхождения видов, мы имеем дело с механизмом, который преобразует динамическим путем случайные движения волн и молекул воды при приливе в однонаправленное развитие. Теория приливной эволюции — это по сути дела теория Дарвина-старшего в применении к астрономии.

Все чаще и чаще в литературе выдвигается идея о научной ценности аналогий, об их упрощающей и «эвристической» роли. Так, по выражению Людвига Больцмана [65, стр. 9], «познание есть не что иное, как изыскание аналогий». С 1906 г. сербский ученый Михаил Петрович разрабатывает целое «учение об аналогиях», а в 1921 г. издает свою книгу «Механизмы, общие для разнородных явлений» [71]. В этой работе на основании анализа большого фактического материала, почерпнутого из самых различных областей знания, Петровичем устанавливаются общие механизмы в разнородных («диспаратных») явлениях, которые приводят его к понятию об аналогиях целых групп явлений. Петрович показывает творческое значение аналогий в истории познания. Но он недостаточно широко понимал значение теории аналогий, которую к тому же считал отраслью «натурфилософии», и в сущности не дошел до необходимости научного объяснения аналогий на основе общей теории организации.

Одним из предшественников тектологии нужно считать также выдающегося кристаллографа Евграфа Степановича Федорова, который, в значительной степени под влиянием Спенсера, создал учение о «перфекционизме» (1906), т. е. об общих законах совершенствования в природе. Причем в некоторых отношениях Федоров пошел дальше Спенсера. В своей мало известной статье «Перфекционизм» [46] * он высказывает ряд глубоких мыслей, опередивших свое время. Федоров приходит, в частности, к выводу, притом раньше Банкрофта и Богданова, об универсальности принципа Ле Шателье. «В сфере всякого рода соотношений физических сил закон этот получил название закона Ле Шателье и сослужил огромную службу прогрессу физической химии. Но на деле уже теперь его применяют к явлениям всяких разрядов, не исключая биологических, психических и социальных» [46, стр. 40]. В качестве одного из примеров он приводит открытое И. Мечниковым явление фагоцитоза. В этой работе Федоров пытается наметить «путь подхода к вполне объединенному знанию» [там же, стр. 43]. За два года до смерти Федоров публикует чрезвычайно интересную статью «Природа и человек», в которой отмечает, что отличительная черта нынешнего столетия состоит «в каком-то особенном напряжении расцвета науки: в появлении глубоких новых отраслей знания, в исчезновении перегородок, разделяющих разные отрасли знания и жизни» [47, стр. 423].

В XX веке появляется также ряд других работ, в которых высказываются идеи, более или менее близкие к тектологии. Так, в 1933—1934 гг. американский биохимик Эдгар Витцман публикует ряд статей под общим заглавием «Мутация и адаптация как составные части универсального принципа» [73]. Отмечая фрагментарность и раздробленность нашего знания и отсутствие в нем гармонии и единства, он приходит к мысли о необходимости выхода из рамок отдельных частных наук и поисков универсальных принципов. Витцман высказывает убеждение, что принцип Ле Шателье — Брауна, называемый им в обобщенной его форме «принципом адаптации», а также принцип ритма и периодичности и некоторые другие являются универсальными и применимы во всех областях знания. Очень интересные мысли об универсальности типов систем высказал биолог Лотка [70]. Можно указать и некоторые другие аналогичные работы, рассеянные в мировой литературе. Но важнейшей среди них является, несомненно, «Тектология» А. А. Богданова.

* Пользуясь случаем, я бы хотел выразить признательность кристаллографу профессору И. И. Шафрановскому, обратившему мое внимание на эту статью.

Как всеобъемлющая наука об универсальных типах и закономерностях строения и развития систем, общая теория организации была создана А. А. Богдановым (1873—1928), который, начиная с 1912 г. и до конца жизни широко разрабатывал основы новой науки, изложенные им в книге «Всеобщая организационная наука (тектология)» [5]. Чуждая в своей универсальности преобладающему в то время типу паучного мышления, идея общей теории организации мало кем была воспринята достаточно полно и не получила распространения. Этому отчасти способствовало также то обстоятельство, что Богданов ранее выступал по философским вопросам, и поэтому тектология воспринималась многими, особенно философами, как новая философская система, хотя сам автор «Тектологии» считал ее «всеобщей естественной наукой» [5, ч. 1, стр. 118] и неоднократно протестовал против смешения всеобщей организационной науки с философией. В то же время он постоянно указывал на самую тесную, неразрывную ее связь с математикой.

В «Тектологии» Богданова мы имеем смелую попытку систематической разработки общей теории структур и систем, общего учения об организационных типах и закономерностях. Богданов использует для построения тектологии материал самых различных наук, в первую очередь наук естественных. Анализ этого материала приводит к выводу о существовании единых структурных связей и закономерностей, общих для самых разнородных явлений. «Мой исходный пункт, — пишет А. А. Богданов, — заключается в том, что *структурные отношения могут быть обобщены до такой же степени формальной чистоты схем, как в математике отношения величин*, и на такой основе организационные задачи могут решаться способами, аналогичными математическим. Более того — отношения количественные я рассматриваю как особый тип структурных, и самую математику — как раньше развивавшуюся, в силу особых причин, ветвь всеобщей организационной науки: этим объясняется гигантская практическая сила математики, как орудия организации жизни» [5, ч. 3, стр. 209].

Основные организационные механизмы

В первой части «Тектологии» устанавливаются два наиболее общих и основных организационных механизма — формирующий и регулирующий. «Всякое событие, всякое изменение комплексов и их форм возможно представить, как цепь актов соединения того, что было разделено, и разделения того, что было связано... При этом для всякого разрыва связи можно установить, как необходимый предшествующий момент, какой-нибудь акт соединительного характера... Следовательно, первичный момент, порождающий изменения, возникновение, разрушение, развитие организационных

форм, или *основа формирующего тектологического механизма* есть соединение комплексов» [5, ч. 1, стр. 121]. Богданов обозначает ее термином «конъюгация», взятым из биологии. Он придает этому понятию универсальный смысл. «Научно-организационные понятия так же строго формальны, — пишет он, — как и математические, которые, собственно, к ним и принадлежат; «конъюгация» настолько же формальное понятие, насколько сложение величин, которое есть ее частный случай» [там же, стр. 122]. Со стороны формы получающихся систем результаты конъюгации очень различны. Результатом конъюгации вообще является система из преобразованных конъюгировавших комплексов. Эти комплексы могут либо остаться во взаимной связи, либо вновь разъединиться в самом ходе изменений, порожденных конъюгацией. Связь конъюгировавших комплексов создается наличием общего элемента, входящего в оба комплекса. Всякое объединение посредством общих звеньев обозначается термином «связка». Развитием связки определяется степень связи. Цепная связь может быть двух родов: однородная, или симметричная, и неоднородная, или асимметричная. В первом случае самые комплексы, находящиеся в связи, одинаковы (пример: цепь, составленная из круглых звеньев). Во втором случае комплексы неодинаковы, и отношение одного к другому иное, чем обратное отношение (пример: винт и гайка). В связи с анализом цепной связи вводится понятие «ингрессии», т. е. введение («вхождение») посредствующих звеньев для цепного соединения двух комплексов, лишенных «связки».

Основной тип организационной связи есть ингрессия. Соответственно ему, основную форму дезорганизации, т. е. распада, разложения комплексов, Богданов обозначает как «дезингрессию», т. е. как отрицательную ингрессию.

Разрыв связей происходит там, где совершается полная дезингрессия и где через комплекс проходит в результате этого «тектологическая граница». Яркая иллюстрация тектологической границы, а также ее изменения — линия фронта. Она проходит там, где враждебные усилия двух армий взаимно уравновешиваются, и до тех пор, пока они уравновешиваются. Когда равновесие нарушается, как это бывает при наступлении одной стороны, линия фронта размывается: идут конъюгационные процессы — бои, схватки, в которых элементы обеих сторон перемешиваются в разнообразных сочетаниях и взаимодействиях. Затем боевые активности могут вновь прийти к равновесию на новой линии фронта или же конъюгация разворачивается дальше и дальше, завершаясь образованием связки, воплощаемой в мирном договоре, в отношениях господства-подчинения и т. д. [там же, стр. 148]. Во всех случаях организационные границы имеют одну и ту же основу: полные дезингрессии. Таким образом, всякий разрыв связи можно представить как *внедрение элементов среды в систему по линиям уничтоженных сопротивлений, т. е. полных дезингрессий* [там же, стр. 149]. Разрыв связи, основанный на дезингрес-

сии, создает отдельные комплексы там, где было одно целое, т. е. он производит «отдельность». С точки зрения Богданова, *«всякий без исключения перерыв в опыте может быть понят, как результат дезингрессии непрерывностей»*. Он есть эпизод в движении непрерывного потока вселенной — потока активностей-сопротивлений» [там же, стр. 161].

Разрыв тектологической границы есть вообще начало их конъюгации, момент, с которого они перестают быть тем, чем они были, тектологическими отдельностями, и образуют какую-то новую систему, с дальнейшими преобразованиями, — словом, это организационный кризис данных комплексов. В тектологии этот тип кризисов обозначается как «кризис *C*» («конъюгационный кризис»). Образование же тектологической границы, создающее из новой системы новые отдельности, также есть кризис, только другого типа. Он обозначается как «кризис *D*» («дизъюнктивный кризис»). Первичными являются кризисы *C*: всякое разделение обусловливается предшествующими конъюгациями.

Конъюгация, ингрессия, связка, дезингрессия, граница, кризисы *C* и кризисы *D* — все это основные понятия для формирующего тектологического механизма. Особой проблемой является регулирующий тектологический механизм. Все, что возникает, имеет свою судьбу. Ее первое, простейшее выражение сводится к дилемме: сохранение или уничтожение. То и другое совершается закономерно, так что нередко удается даже предвидеть судьбу форм. *Закономерное сохранение или уничтожение* — это и есть первая схема универсального регулирующего механизма. Обозначать его всего лучше тем именем, которое он давно получил в биологии — «отбор» или «подбор» [там же, стр. 178].

Механизм отбора (у Богданова «подбора») разлагается на три элемента: 1) *объект* отбора — то, что ему подвергается; 2) *деятель* или *фактор* отбора — то, что действует на объект, сохраняя или разрушая его; 3) *основа* или *базис* отбора — та сторона объекта, от которой зависит его сохранение или устранение.

Первая схема отбора, в которой дело идет только о сохранении организационных форм или их несохранении, обозначается термином *консервативный отбор* («подбор»). Но эта элементарная схема консервативного отбора является научно недостаточной. Помимо того, что точного сохранения не существует, в нее трудно уложить те случаи, когда форма изменяется, прогрессивно развиваясь. Поэтому Богданов устанавливает вторую схему отбора, названную им *прогрессивным отбором* («подбором»). Он исходит из того, что все изменения среды, идущие независимо от данной организационной формы, неизмеримо чаще неблагоприятны для последней. Поэтому статическое положение данного комплекса неизбежно превращается в неблагоприятное (перевес потерь над усвоением). Отсюда делается вывод, что действительное сохранение форм в природе возможно только путем прогрессивного их развития [там же, стр. 193]. Схема прогрессивного отбора ох-

ватывает и прогрессивное развитие комплексов, и их относительный упадок. Поэтому отбор может быть положительным или отрицательным.

Устойчивость организационных форм

Организационная устойчивость форм выражается в количественной и структурной устойчивости. При этом, по Богданову, структурная устойчивость сама представляет величину и всегда может быть выражена количественно. Положительный отбор, сопровождаемый возрастанием неоднородности внутренних связей комплекса, ведет к уменьшению структурной устойчивости, а отрицательный, сопровождаемый возрастанием их однородности, — к ее увеличению. В первом случае имеющиеся структурные противоречия сохраняются и к ним присоединяются со вступлением новых элементов еще новые; во втором случае идущее разрушение отрывает от комплекса прежде всего наименее прочно связанные с ним элементы, разрывает наиболее противоречивые связи. Функция отрицательного отбора состоит в разрушении тех элементов, связей, группировок, которые наименее устойчивы, которые в наибольшей мере нарушают внутреннюю организованность целого. Происходит и упрочение системы, и возрастание ее стройности. Поэтому, если отрицательный отбор, не произведя полного или вообще глубокого разрушения системы, вновь сменится положительным, то дальнейший рост и развитие системы приобретает характер большей организованности. Но при этом следует иметь в виду относительный характер всякой динамической устойчивости. Обыкновенно, говоря о ней, мы имеем в виду обычные, средние условия среды, в которых протекает существование данных комплексов. Но это лишь общая, нормальная высота устойчивости, а не ее конкретная величина. Последняя же зависит от конкретных, частных условий, и вместе с ними варьирует. Отрицательный отбор уничтожает то, что менее устойчиво в данных условиях. Всякий сложный комплекс, особенно такой, как общество, представляет известное разнообразие, известную неоднородность условий. Поэтому элементы или группировки, в общем «нормально» обладающие более высокой жизнеспособностью, большей устойчивостью, более совершенной организованностью, оказываясь в менее благоприятных условиях, иногда исключительных, могут погибать, в то самое время как иные элементы или группировки низшей организованности, находясь в условиях особенно благоприятных, сохраняются и продолжают усиливаться.

Сопоставляя функции положительного и отрицательного отбора в мировом развитии, можно сказать, что они охватывают вместе всю динамику этого развития. Положительный отбор, усложняя формы, увеличивая разнородность бытия, доставляет для него материал, все более возрастающий; отрицательный отбор, упрощая этот материал, устраняя из него все непрочное,

нестройное, противоречивое, внося в его связи однородность и согласованность, приводит этот материал в порядок, вносит в него систематизацию. Дополняясь взаимно, оба процесса стихийно организуют мир [там же, стр. 212].

Суммарная устойчивость комплекса по отношению к данной его среде есть, очевидно, сложный результат частичных устойчивостей разных частей этого комплекса. Уже анализ такой простой системы, как цепь, состоящая из звеньев неодинаковой прочности, приводит к выводу, что структурная устойчивость целого определяется наименьшей его частичной устойчивостью. Эта схема относится не только к механическим системам, но решительно ко всяким: физическим, психическим, социальным.

Поскольку система обыкновенно подвергается неравным и неравномерным воздействиям в разных своих частях, приходится ввести понятие об *относительном сопротивлении*. Если изменяется величина внешних воздействий или структурное состояние самой системы, то достаточно, чтобы в какой бы то ни было ее части, на какой бы то ни было краткий промежуток времени, установилось относительное сопротивление ниже единицы, и разрушительный процесс произойдет. Так, заснувший на минуту богатырь может быть убит ничтожным карликом. Поэтому в его обобщенной тектологической формулировке закон минимума гласит: *устойчивость целого зависит от наименьших относительных сопротивлений всех его частей во всякий момент* [там же, стр. 214]. Богданов называет его «законом относительных сопротивлений» или, короче, «законом наименьших». Как указывает автор «Тектологии», закон этот не представляет сам по себе ничего принципиально нового для науки: в механике, в физике, в технических науках он сформулирован давно. Так, в механике существует положение, что тела движутся «по линии наименьшего сопротивления», а в агрохимии Либихом был сформулирован так называемый «закон минимума» — основная формула урожайности. В предисловии ко второй части «Тектологии» Богданов приводит интересную выдержку из книги биохимика Б. Робертсона «Химическая основа роста и старения» (1923), в которой сформулирован закон наименьших для системы химических реакций и даже в универсально-обобщенной форме.

Структурная устойчивость любой системы рассматривается в «Тектологии» еще с одной точки зрения. Среда воздействует на систему, как и система на свою среду, непосредственно лишь там, где обе они *соприкасаются*, в «пограничной» области, понимая это слово тектологически, а не только пространственно. Величина пограничной области, т. е. количество соприкосновений, может возрастать или уменьшаться. Две системы, подобные и равные в прочих отношениях, могут различаться именно в этом. Возникает вопрос, как такие изменения или различия отражаются на структурной устойчивости. Очевидно, что отрицательный отбор интенсивнее проявляется для форм с увеличенной поверхностью

соприкосновения со средой, условно называемых Богдановым «четочными». Строение, более «ровное», менее разветвляющееся, вообще, противоположное «четочному», он обозначает термином «слитность». Разница заключается в том, что в слитных формах больше связей между собственными их элементами, чем в четочных, так что меньше простора для проникновения между ними элементов или комплексов внешней среды. Для слитных комплексов отрицательный и положительный отборы менее интенсивны. Отсюда общее решение вопроса о том, какая структура благоприятнее для сохранения и развития систем: *под отрицательным отбором благоприятнее слитная, под положительным — четочная* [там же, стр. 248]. Понятия «четочной» и «слитной» организации вполне применимы не только в пространственных, но и во временных структурных отношениях.

В связи с устойчивостью организационных форм особой проблемой является структурная устойчивость в системах равновесия. Согласно закону Ле Шателье, сформулированному для физических и химических систем, *если система равновесия подвергается воздействию, изменяющему какое-либо из условий равновесия, то в ней возникают процессы, направленные так, чтобы противодействовать этому изменению*. Богданов считает этот закон тектологическим, т. е. универсальным, в чем он следует Федорову и Банкрофту *. Устойчивость систем равновесия, выраженная в законе Ле Шателье, объясняется все тем же механизмом отбора. Структура систем равновесия тем и характеризуется, что они заключают в себе противоположные процессы, взаимно нейтрализующиеся на определенном уровне. Если в такую динамическую систему равновесия вступают извне новые активности, то, очевидно, следует принять всевозможные их сочетания с прежними, всевозможные элементарные их столкновения, конъюгации, дезинг्रेसии. Но из этих сочетаний одни будут устойчивы, другие неустойчивы; первые будут удерживаться, вторые — устраняться отбором. Результат получается именно тот, какой соответствует закону Ле Шателье: обнаруживается процесс, уменьшающий эффект внешнего воздействия, как бы противодействующий ему [там же, стр. 258].

С неуравновешенными системами дело обстоит совершенно иначе. В них если и идут изменения одновременно в двух противоположных направлениях, то одна из двух групп устойчивее, а потому целое преобразуется шаг за шагом в ее сторону. Система равновесия может слагаться из комплексов неуравновешенных, и обратно. Да в сущности и вообще тенденция равновесия возникает из бесчисленных частичных нарушений равновесия. Системы равновесия, путем структурных изменений, часто не заметных для прямого наблюдения, могут переходить в неуравновешенные, и обратно.

* К сожалению, в «Тектологии» Богданова очень мало ссылок на литературу и трудно поэтому сказать, знал ли он о работах Федорова и Банкрофта.

Расхождение и схождение форм

Как бы ни были сходны два комплекса, их дальнейшие изменения не будут вполне одинаковыми. Они должны быть различны и в силу первоначальной разности самих комплексов, и в силу разностей среды, воздействиями которой изменения вызываются. Различия возрастают, и в зависимости от этого дальнейшие изменения должны оказаться еще более несходными. Следовательно, расхождение исходных форм идет «лавинообразно». Процессы расхождения необратимы.

Когда в решении тектологической задачи данные включают одновременно и отдельность, и связь комплексов, т. е. когда требуется исследовать изменения *системы, состоящей из отдельных частей*, это можно обозначить как задачу на *системное расхождение* («системную дифференциацию»). Принцип относительных сопротивлений, закон наименьших дали ответ на вопрос об условиях сохранения или разрушения таких систем. В каком же направлении должна изменяться система, если она сохраняется? Очевидно, в сторону наиболее устойчивых соотношений. Получается, следовательно, возрастание различий, ведущее ко все более устойчивым структурным соотношениям. Какие же соотношения расходящихся частей будут наиболее устойчивыми? Такие, при которых эти части взаимно *дополняют* друг друга. Это — *дополнительные соотношения*. Развиваются такие различия, которые повышают связность и устойчивость системы, ее прочность под внешними воздействиями, ее организованность. Типичными примерами дополнительных соотношений являются разделение функций в организме и разделение труда в обществе. Вся область жизни на земле может рассматриваться, в ее целом, как одна система расхождения. Она разветвляется на два «царства» — растительное и животное; между ними существуют во многом дополнительные соотношения. Таким образом, *системное расхождение включает в себе тенденцию развития, направленную к дополнительным соотношениям* [5, ч. 2, стр. 27]. Системное расхождение направляется по линии дополнительных связей силою отбора. На основании анализа ряда примеров автор «Тектологии» приходит к выводу: «Как видим, закономерность системного расхождения — «дифференциации» — одна и та же во всех областях и на всех ступенях бытия. Чем выше уровень организационных форм, тем с большей отчетливостью и строгостью она обнаруживается» [там же, стр. 30].

Дополнительные соотношения характеризуются своей «необратимостью»: связь от А к В не тождественна со связью от В к А, но противоположна ей. Это — *асимметричная ингрессия*. И, действительно, всякая специализация, всякое разделение функций, разделение труда и т. п. — соотношения асимметричные: в них стороны не могут быть переставлены. Каждая связь, выражаемая вогнутой линией для одной части системы, выражается выпуклой для другой.

Системное расхождение включает в себе и другую тенденцию. Вместе с условием устойчивости — дополнительными связями, оно развивает также определенные *условия неустойчивости*: порождает «системные противоречия». Противоречия эти, на известном уровне их развития, способны даже перевешивать значение дополнительных связей. Системное расхождение означает возрастание организационных различий между частями целого, *увеличение тектологической разности*.

Таким образом, по всем ступеням бытия проходит своеобразная двойственность системного расхождения: развитие ко все большей устойчивости форм — через дополнительные связи — и к их последующему разложению — через накапливающиеся противоречия.

Системные противоречия могут решаться или отрицательным путем — разрушается сама система, или положительным — преобразованием системы, освобождением ее от противоречий. Ослабление или устранение системных противоречий достигается путем конъюгационных процессов, которые дают новый материал для перегруппировок и их отбора, т. е. вообще для структурного преобразования всей системы.

Контрдифференциация бесконечно распространена в природе. Она наблюдается на всех ступенях организованности. К ней в сущности должны быть отнесены и все вообще случаи *выравнивания напряжений*. И здесь, как во всякой контрдифференциации, простое количественное выравнивание — только первый момент; всегда за ним выступает и второй момент — структурные изменения в отборе нового материала комбинаций.

Наряду с расхождением организационных форм происходит также их схождение. Схождение форм имеет иной организационный смысл, чем контрдифференциация, иное и происхождение. Схождение есть результат сходно направленного отбора со стороны сходной среды. Разница с контрдифференциацией вполне ясна: там расхождение или его отрицательные последствия парализуются прямой конъюгацией самих разошедшихся форм; здесь же такой конъюгации нет, сходство комплексов определяется не их собственным общением, а их отношениями к среде. Схождение форм хорошо иллюстрируется на техническом примере отливки. Роль «отливочной формы», конечно, в разных смыслах и в разной мере может играть всякая определенная среда.

Конечно, для схождения форм необходима некоторая, заранее наличная, их организационная однородность: чем различнее сама их организация, тем менее вероятно одинаковое отношение к среде. Правда, эта структурная однородность в иных случаях представляется очень отдаленной. «Но схождение и простирается в подобных случаях лишь на самую общую, так сказать, принципиально-архитектурную форму, выражаемую алгебраической или геометрической схемой; а соответственная степень общеструктурного родства может существовать и между самыми отдаленными в дру-

гих отношениях системами; на этом ведь основана самая возможность универсально-тектологического обобщения». [115].

Всякий комплекс заключен в своей среде одновременно и как отливочный материал и как формовочная модель, определяясь этой средою в первом смысле и частично определяя ее во втором. И всякая повторяемость форм, а следовательно, всякая наблюдаемая закономерность, основывается, в конечном счете, на каком-нибудь схождении. Эта схема применяется далее к объяснению того, почему различный химический материал, получаемый живой протоплазмой, отливается под ее действием в специфические формы ее собственного сходства. Для объяснения процесса ассимиляции Богданов считает необходимым принять, что в организме поступающие материалы проходят через какую-то химическую отливочную форму, откуда могут выйти только в виде специфических соединений [там же, стр. 120]. Но как найти эту отливочную форму?

В этой связи Богдановым вводятся два организационных понятия. Первое из них — регулятор. Это приспособление, которое служит для того, чтобы поддерживать какой-нибудь процесс на определенном уровне. Регулятор есть одна из разновидностей «отливочной формы» в тектологическом смысле слова: при помощи его вызывается «схождение» разных фаз данного процесса на определенной высоте. Второе понятие производное от первого, но сложнее — *бирегулятор*, т. е. двойной регулятор. Это такая комбинация, в которой два комплекса взаимно регулируют друг друга. Другими словами, бирегулятор — это система двойного внутреннего регулирования. Например, в паровой машине дело обстоит таким образом, что скорость хода и давление пара взаимно регулируют друг друга: если давление поднимается выше определенного уровня, то возрастает и скорость, а зависящий от нее механизм тогда уменьшает давление, и обратно. В природе бирегуляторы встречаются нередко; пример — хотя бы система равновесия «вода — лед» при 0° С. Если вода нагревается выше нуля, то соприкасающийся с ней лед отнимает излишек теплоты, поглощая ее при своем таянии; если происходит охлаждение, часть воды замерзает, освобождая теплоту, которая и не дает температуре льда опуститься ниже нуля. В общественной организации бирегулятор очень распространен в виде систем «взаимного контроля» лиц или учреждений и т. п. Бирегулятор есть такая система, для которой не нужен регулятора извне, потому что она сама себя регулирует. Эта важная идея саморегулирования систем равновесия более подробно развита в медицинской книге А. Богданова «Борьба за жизнеспособность» [6]. Здесь, как и в «Тектологии», он применяет идею бирегулятора к пониманию процесса ассимиляции организмом чужих белков. При переваривании пищи ее белки разлагаются на их структурные элементы — аминокислоты. В живой плазме они комбинируются соответственно физико-химическим условиям той среды, где оказались. Это значит: в какие бы соединения они между собой не вступали, удержаться могут *только* те из соедине-

ний, которые способны существовать в равновесии с этой средой. Непрочные сочетания аминокислот тут же распадаются, удерживаются только прочные, устойчивые. А устойчивы в данной среде только те, которые соответствуют составу ее наличных белковых молекул. Но если живая белковая среда есть действительная система равновесия, в которой состав белков регулируется составом дисперсионной жидкости, то надо полагать, что и состав этой жидкости, в свою очередь, регулируется ими, т. е. что перед нами бигулятор. При большой легкости распада и воссоединения белковые молекулы, действительно, должны быть способны регулировать состав жидкости; например, при убыли в ней растворенных аминокислот ниже нормального количества — прямо пополнять их за счет своего распада. Механизму ассимиляции белков в принципе подобен и механизм ассимиляции других коллоидов: жиров, сложных углеводов, например, крахмала в растениях, и пр. Двойственное строение коллоидов вообще включает в себе условия, подходящие для двустороннего регулирования [5, ч. 2, стр. 123].

Формы централистические и скелетные

Можно выделить два универсальных типа систем, играющих исключительно большую роль как по своей распространенности, так и по тектологическому значению. Если пользоваться обычными терминами, расширяя, однако, их значение, то первый тип можно было бы назвать «централистическим», второй — «скелетным». Но оба термина слишком тесно связываются для нашего сознания с определенными социальными и биологическими формами. Поэтому Богданов вводит два новых обозначения — «эгрессия» и «дегрессия», — точнее соответствующие тектологической идее [там же, стр. 124].

Любая «централистическая связь» разлагается на более простые, ингрессивные связи, но эти связи все необратимы и сходятся к одному центральному комплексу, тектологическая функция которого, таким образом, существенно отличается от тектологической функции остальных. Связь такого рода и называется «эгрессией», т. е., по буквальному смыслу латинского слова, «выхожде-ние из ряда». Тот комплекс, который имеет преобладающее влияние на другие, — как солнце в планетной системе, руководитель в группе людей, обобщающее понятие среди более частных или центральный нервный аппарат в организме животных, — является как бы выходящим из ряда; его различие от других есть «эгрессивная разность», а он сам по отношению к ним — «эгрессивный центр». Организационное значение эгрессии заключается в том, что она концентрирует определенные активности и тем самым «централизует» всю систему.

В непрерывной цепи перехода от зародышевой эгрессии к высшим ее ступеням эгрессивная разность постепенно возрастает,

система все более «централизуется». Это объясняется тем, что в благоприятных условиях среды центральный комплекс системы всегда обладает преимуществами перед остальными и поэтому при положительном отборе он быстрее, чем остальные, усиливается за счет среды. При отрицательном же отборе он, наоборот, отстает в процессе ослабления. Очевидно, что в обоих случаях агрессивное различие между ним и остальными комплексами возрастает.

Главный, выше организованный комплекс агрессивной системы Богданов называет «центральным» для нее, или просто ее центром; прочие — «периферическими», причем он имеет в виду только организационные отношения, совершенно не касаясь вопроса о пространственном положении. Например, в системе, состоящей из матери — беременной самки и ее еще не рожденных детенышей, центром агрессии, конечно, является мать, а детеныши — «периферические», т. е. структурно более зависимые комплексы, хотя в смысле места взаимоотношения как раз обратное.

Разнообразны формы агрессии, различны пути ее эволюции. Но, пользуясь введенными понятиями и наблюдая отношение агрессивной системы в целом и отдельных ее частей к их среде, принципиально возможно установить тенденции системного развития, а значит — и предусмотреть или даже планомерным воздействием предопределить дальнейшую судьбу системы.

Агрессия концентрирует активность. Может показаться, что при ее цепном разворачивании эта концентрация не имеет границ. В действительности, однако, агрессия по самой природе своей ограничена, цепь агрессии не может разворачиваться звено за звеном, без конца. Между всяким высшим звеном и связанными непосредственно с ним низшими всегда должна существовать агрессивная разность, означающая разный уровень организованности: переход от высшего звена к низшим соответствует *понижению организованности*, которое должно быть достаточно велико, чтобы эти низшие постоянно и устойчиво определялись высшим звеном в своих изменениях. Для бесконечного ряда звеньев потребовалось бы, следовательно, бесконечное число таких понижений. Но во всякой агрессивной цепи, идя вниз от звена к звену, мы неизбежно достигаем такого, что при дальнейшем понижении организованности начинаются уже иные активности, не те, что характеризуют нашу агрессию. Не исключено, разумеется, и то, что эти иные активности, в свою очередь, образуют цепь агрессии, но это будет не прежняя, а новая цепь, другая система, со своими особыми соотношениями. Практически эта ограниченность выражается еще и в том, что по мере удлинения агрессивной цепи ее низшие звенья все меньше и меньше определяются центральным комплексом. Это цепное ослабление связи кладет предел концентрирующей силе всякой данной агрессии.

В том же направлении действует другой момент — накопление системных противоречий. Агрессия есть частный случай дифференциации, организационного расхождения; чем она шире и дальше

развертывается, тем, значит, сильнее эта дифференциация со всеми ее последствиями; а одно из них, совершенно неизбежное, есть развитие системных противоречий. Способ разрешения системных противоречий для эгрессии принципиально тот же, как и для других форм расхождения, а именно — контрдифференциация.

В эгрессивных системах возможны и иные противоречия, зависящие не столько от дифференциации, сколько от ее неполноты; они наблюдаются в случаях «многоцентрия». Стройно организованная эгрессия характеризуется *одним* общим центром, но на деле нередко встречаются системы с двумя или более главными центрами, с параллелизмом связей каких-нибудь низших центров, словом, не соответствующие принципу *единоцентрия*. В них проявляются неуравновешенность, противоречия, дезорганизация.

Чем пластичнее в организационном отношении комплекс, тем больше в нем образуется комбинаций при всяких изменяющих его условиях, чем богаче материал отбора, тем быстрее и полнее его приспособление к этим условиям. Если жизнь побеждает мертвую природу, если нежный человеческий мозг господствует над огнем и сталью, то именно благодаря своей пластичности. Тектологический прогресс, основанный на пластичности, ведет к *усложнению* организационных форм, ибо в них накаплиются приспособления к новым и новым изменяющимся условиям. Усложнение в свою очередь, благоприятно для развития пластичности, так как увеличивает богатство возможных комбинаций. Поэтому, в общем, чем выше организация, тем она и сложнее, и пластичнее. Но здесь есть и другая сторона: параллельно с этими положительными чертами возрастает одно, тоже весьма важное, отрицательное свойство — «нежность» или «уязвимость» организации. Подвижность элементов допускает и относительно легкое разрушение связей между ними; а сложность внутренних равновесий системы означает также их сравнительную неустойчивость. Яркая иллюстрация — человеческий мозг. Здесь перед нами одно из типичнейших тектологических противоречий: возрастание организованности по одним направлениям достигается за счет ее уменьшения по другим. Выходом из этого положения является возникновение скелетных структур, депрессии.

Человек обладает наружным скелетом (из роговой ткани — эпидермы и лежащей под нею волокнистой ткани — кожи) и внутренним скелетом — из костей. Внутренний и наружный скелеты биологически замещают друг друга у разных животных; например, у насекомых хитиновая оболочка, у большинства моллюсков раковина делают излишним центральный скелет, но у некоторых, например, у каракатиц, он есть. Вообще самое разграничение центральной и периферической депрессии возможно только для систем пространственно-непрерывных и устойчивых по геометрической форме, каковы организмы; для систем же, например, социальных оно большей частью и не может быть установлено или принимает характер переменного соотношения.

Не надо представлять скелетные комплексы непременно как более прочные или твердые в механическом смысле. Когда преследуемая каракатица окружает себя облаком чернильной жидкости, делающей воду непрозрачной, — это тоже временный наружный скелет каракатицы. Такого же рода «наружным скелетом» является у некоторых животных окружающая их зона специфического, отвратительного для других животных запаха.

«Скелетные» формы в области жизни образуются за счет организационно низших группировок, выделяемых, дезассимилируемых пластичными комплексами. Пластичность и прочность свойственны, однако, хотя и в разной мере, всем ступеням организации. Поэтому Богданов и заменяет очень привычное, но зато узкое обозначение «скелетных форм» новым термином «дегрессия», по латыни — «схождение вниз». Дегрессия есть организационная форма огромного положительного значения: только она делает возможным развитие пластичных форм, фиксируя, закрепляя их активности, охраняя нежные комбинации от грубой их среды [там же, стр. 162].

Отсюда гигантская широта применения дегрессии в сфере техники и в органическом мире. Но и в неорганической природе твердое ложе озера или русло реки можно рассматривать как естественный сосуд для воды, охраняющий форму пластичного жидкого комплекса. Даже поверхностный слой жидкостей с его особыми механическими свойствами, делающими из него как бы натянутую упругую пленку, выполняет аналогичную функцию. Чрезвычайно важный и интересный случай дегрессии представляют разного рода символы, в частности, наиболее из них типичный и распространенный — слово. Символы *фиксируют*, т. е. скрепляют, удерживают и охраняют от распада живую, пластическую ткань психических образов, совершенно аналогично тому, как скелет фиксирует живую, пластичную ткань коллоидных белков нашего тела.

Каждая дегрессивная система состоит, как выяснено, из двух частей — пластичной, т. е. выше организованной, но менее устойчивой по отношению к некоторым разрушительным воздействиям, и скелетной, т. е. ниже организованной, но более устойчивой. Пусть вся система находится в условиях положительного отбора; как она будет изменяться? Если нет никаких специальных условий, особенно благоприятных для скелетной части, то, очевидно, процессы роста и усложнения будут сильнее и быстрее совершаться в пластичной части, как выше организованной, более способной к ассимиляции; скелетная, менее к ней способная, должна только *отставать*. Их прежнее равновесие, следовательно, нарушается: «скелет», связывая пластичную часть системы, стремится удержать ее в рамках своей формы, а тем самым — задерживать ее рост, *ограничить* ее развитие.

Этот теоретический вывод вполне оправдывается в действительности. Так, для человека именно костный скелет является

основной причиной остановки роста всего тела. Наружные скелеты, хитиновые, роговые покровы у многих насекомых, ракообразных, позвоночных, отставая в процессе роста от пластичных тканей, начинают жизненно стеснять их; тогда эти оболочки должны разрываться и сбрасываться, заменяясь новыми, более просторными, что обыкновенно и происходит периодически. Особенно важный и интересный случай представляет социальная дегрессия. По мнению Богданова, природа языка, идей и норм — дегрессивная, скелетная, со всеми необходимыми чертами [там же, стр. 171]. Так, слово не только закрепляет живое содержание, но своим консерватизмом стесняет его развитие. Привычная, но устаревшая терминология часто служит большим препятствием к прогрессу науки, мешая овладеть новым материалом, искажая самый смысл новых фактов, которых не может со всей полнотой и точностью выразить. Но еще ярче выступает это противоречие в развитии более сложных комплексов — идей, норм и их систем. Термин «окостенение догмы», применяемый и к религиозным, и к научным, и к юридическим, политическим, социальным доктринам, недаром заимствован из физиологии скелета: их отставание в процессе развития от живого содержания жизни, их задерживающая роль тектологически такова же, как роль всякого скелета [там же, стр. 172].

Таким образом, в развитии дегрессии противоречия тектологически неизбежны, они вытекают из ее существа. Но, понимая их значение и закономерность, можно сводить их к наименьшей величине, растрату активностей ограничивать рамками безусловно необходимого. Консерватизм дегрессии есть именно то условие, которое в процессе развития мирового, биологического, социального, делает необходимой смену форм и порождает постоянное их искание, стихийное или сознательное [там же, стр. 180].

С широко-теоретической точки зрения и эгрессия и дегрессия — частные случаи асимметричной связи, т. е. всецело лежат в пределах принципа системной дифференциации. Положение, согласно которому «эгрессивная разность в однородной среде возрастает», есть, очевидно, частный случай принципа расхождения. Когда две части системы приобрели достаточную раздельность и различаются между собой по *организационному уровню*, то их расхождение возрастает, пока среда одинаково для них благоприятна или одинаково неблагоприятна: чтобы изменить в другую сторону соотношение их уровней, требуются специальные воздействия извне, как требуются они для того, чтобы прекратить всякое иное расхождение.

«Ограничительная тенденция дегрессии» находится в такой же связи с принципом расхождения: она есть не что иное, как расхождение двух частей единой системы по *степени их пластичности*. Как в первом случае неодинаковый исходный уровень организации, так здесь неодинаковая пластичность частей системы обуславливает неравное влияние среды — не в равной мере ути-

лизуются ее благоприятные моменты, не в равной мере проявляется отрицательное действие неблагоприятных факторов.

Таким образом, эти два организационные типа отнюдь не противоположны один другому. В самом деле, эгрессивный центр далеко не всегда более пластичен, чем его периферия; закрепление активностей не противоположно их концентрированию, а нередко, напротив, является для него необходимым условием. Соотношение обоих типов лучше всего выясняется там, где они реально соединяются, как в случае авторитарных форм социальных комплексов [там же, стр. 181]. Сочетание эгрессии с депрессией являет собой и корабль, эгрессивно подчиненный в своем движении экипажу с капитаном во главе, депрессивно же заключающий в себе, как внешнем скелете, и капитана, и экипаж, и пассажиров, и ценные грузы. Все комбинации сводятся к двум типам: либо депрессия идет параллельно с эгрессией и служит для ее закрепления, либо та и другая относятся к разным специфическим активностям, которые тогда надо точно установить и разграничить.

Какого же рода связь между мировой эгрессией и мировой депрессией? Легко видеть, что это — параллелизм. Мировая эгрессия разворачивается в последовательном подчинении природы человечеством; мировая депрессия закрепляет каждый шаг этого процесса, определяя и фиксируя его в пространстве и времени [там же, стр. 187].

Эгрессия и депрессия разлагаются на несколько ингрессий с необратимой связью. Резюмируя их взаимоотношение, можно сказать: ингрессия собирает организуемое содержание, эгрессия его концентрирует, депрессия фиксирует [там же, стр. 188].

Пути и результаты отбора

Механизм отбора универсален, действует повсюду и во всякий момент; другими словами — всякое событие, всякое изменение может рассматриваться с точки зрения отбора — как сохранение или умножение одних активностей, упрочение и усиление одних связей, устранение, уменьшение, ослабление, разрыв других в том или ином комплексе. Можно с уверенностью сказать, что ни один вопрос структурного развития, от общемирового до атомного, не может быть сколько-нибудь точно разрешен помимо этого универсального, проходящего по всем ступеням бытия применения идеи отбора [там же, стр. 190]. Одним из важных выводов из этого является принцип «цепного отбора». Пусть имеется сложный комплекс под воздействием определенной среды, которая так или иначе его изменяет; изменения эти непрерывно регулируются отбором. Разложим взятое нами целое на части по такому способу: выделим «пограничные элементы», которые в первую очередь связаны со средой, затем те, которые ближайшим образом связаны с этим

первым рядом и т. д., как бы «послойно», двигаясь снаружи внутрь. Так как фактором отбора является среда, то очевидно, что ее преобразующее действие скажется в первую очередь на пограничном «слое» системы, который и должен непосредственно «приспособиться» к среде, понимая термин в самом широком, не только биологическом смысле. Этот первый ряд изменений представляет изменяющее воздействие для второго «слоя», тот — для третьего и т. д. до элементов, тектологически наиболее внутренних, наиболее косвенно испытывающих воздействие извне на систему. Такая последовательность отбора в сложных системах, от тектологически пограничных группировок и связей к тектологически внутренним, и обозначается как «цепной отбор».

Встречаются громадные различия в степени изменчивости среды и потому есть основания сопоставлять условия отбора в средах относительно консервативной и изменяющейся. Ясно, что *направление отбора*, от которого зависит выработка форм, в среде консервативной является сравнительно устойчивым; в среде меняющейся оно, напротив, непостоянно. Это неизбежно сказывается на тектологическом типе и характере создающихся форм. Чем консервативнее обстановка, чем длительнее действие отбора по одним и тем же, неизменным направлениям, тем более совершенно и закончено соответствие вырабатываемых форм с этой именно обстановкой, тем полнее достигается их равновесие с ней. Но при этом само их строение с необходимостью оказывается консервативным, лишенным пластичности. Высшая степень соответствия данной среде означает несоответствие всякой иной среде, поэтому в такой же степени разрушительными должны явиться всякие последующие изменения в обстановке, если они пойдут относительно ускоренным темпом.

Таким образом, комплекс, отбор элементов которого происходит на относительно консервативной основе, тем менее способен устойчиво сохраняться или развиваться, чем более изменчива его среда. В биологии, а также в социальной психологии принимается существование «консервативных типов», погибающих при ускорении темпа изменений в их окружающей среде. Наоборот, чем значительнее изменчивость основы отбора, тем больше возможная *разнородность* элементов вырабатываемого отбором комплекса. Разнородность еще не означает дезорганизованности, но она всегда означает увеличение сложности внутренних отношений системы и понижение их устойчивости. Это, конечно, необходимое условие пластичности системы в изменяющейся среде. Но когда разнородность усиливается, то сложность и неустойчивость, возрастая, с известного момента начинают перевешивать организационную связь и единство системы, которая становится неустойчивой как целое; сумма ее активностей и сопротивлений среде понижается; разнородность переходит в дезорганизованность. В этом жизненная слабость данного типа организации. Он, вообще, совершеннее по основной структуре, чем «консервативные типы»,

но в тектологическом опыте всякое совершенство является ограниченным, имеет свою отрицательную сторону.

Особая проблема — отношение положительного и отрицательного отбора. Положительный и прогрессивный отбор означает увеличение суммы активностей, организованных в форме данного комплекса, при сохранении его структуры, способа организации. Это увеличение происходит за счет окружающей среды. Отрицательный прогрессивный отбор означает уменьшение суммы активностей комплекса при сохранении или разрушении его структуры. Отбор в обеих формах сводится к некоторой сумме конъюгационных или дезингрессионных актов. При этом первичная их группа имеет определенное направление — знак плюс или минус; производная может заключать процессы обоих знаков. По своим организационным результатам обе формы отбора полностью противоположны. Положительный отбор увеличивает количественную устойчивость форм; при этом он повышает сложность и неоднородность их строения, а тем самым понижает их структурную устойчивость. Отрицательный отбор уменьшает количественную устойчивость, упрощает строение, изменяя его в сторону однородности, и в результате увеличивает структурную устойчивость.

Развитие жизни характеризуется образованием бесчисленных форм, из которых минимальная доля сохраняется, а остальные гибнут. Здесь и выступает всего нагляднее неравенство положительного и отрицательного отбора: в первом всегда есть возможность его продолжения, второй постоянно обрывается, сам себя исчерпывая. Количественный перевес на его стороне огромный, и все-таки сумма организованности возрастает. Отсюда же вытекает всеобщая *необратимость* процессов природы. Отрицательный отбор идет везде и всюду; то, что он берет, уносится им бесповоротно; поэтому в природе непрерывно образуется новое в новых условиях. Следовательно, другой стороной этой необратимости является неисчерпаемость творчества.

Кризисы форм

Под кризисом автор «Тектологии» понимает «смену организационной формы комплекса» [5; ч. 3, стр. 12]. Любая организационная форма представляет собой *совокупность связей между элементами*. Следовательно, смена формы может состоять либо в уничтожении каких-то прежних связей, либо в возникновении новых, либо в том и другом вместе. Но это и значит, что сущность кризисов заключается в *образовании или нарушении полных дезингрессий*.

Существует два основных типа кризисов. Одни кризисы возникают из нарушения полных дезингрессий, следовательно, разрыва тектологических границ и образования новых связей; другие, напротив, из образования полных дезингрессий и создания

новых границ там, где их не было, т. е. из разрыва связей. Первый тип обозначается как «кризисы *C*», т. е. конъюгационные, соединительные; второй — как «кризисы *D*», т. е. дизъюнктивные, разделительные. Каждый реальный кризис представляет собой цепь элементарных кризисов того и другого типа. При этом полюсы всякого кризиса одинаковы по своей схеме: исходный пункт всегда *C*, конечная фаза всегда *D*.

Кризис есть нарушение равновесия и в то же время процесс перехода к некоторому новому равновесию. Это последнее может рассматриваться как *предел* происходящих при кризисе изменений, или как *предел его тенденций*. Если нам известны тенденции кризиса и те условия, в которых они разворачиваются, то появляется возможность заранее предвидеть конечный результат кризиса — то *предельное равновесие*, к которому он тяготеет.

Все выводы и предвидения относительно предельных равновесий предполагают, конечно, определенную закономерность, господствующую над наблюдаемыми процессами образования и преобразования форм. Закономерность эта может быть выражена так: чем более, в двух разных случаях, сходна совокупность элементов и среда, в которой они находятся, тем более велика вероятная степень схождения предельных равновесий, к которым тяготеют в обоих случаях процессы, формирующие и регулирующие группировки и отбор [там же, стр. 23]. Иными словами: чем более одинаков организационный материал и условия, на него воздействующие, тем более схождения следует ожидать в образующихся из него организационных продуктах. Не надо, однако, слишком упрощенно понимать эту схему. Она выражает *организационную тенденцию*, которая всегда имеется налицо, но далеко не всегда воплощается в конечном результате, потому что может быть замаскирована или парализована другими тенденциями, вытекающими из конкретной сложности условий.

Понятие предельного равновесия относительно, так как законченных форм и остановки на них в природе не бывает. Мы называем структуру взрослого организма предельным равновесием, к которому тяготеет развитие зародыша, и это вполне закономерно. Но это не мешает тому, что взрослая форма есть исходный пункт процессов жизненного упадка, и сама тяготеет, следовательно, к еще более устойчивому предельному равновесию в результате смерти и разложения, — к равновесию неорганических тел. На пути к предельному равновесию часто наблюдаются закономерные промежуточные формы, которые можно рассматривать как относительные предельные равновесия для определенной части изучаемого процесса. Например, группа радиоактивных тел, образующая семейство урана, есть последовательный ряд химических элементов, получающихся один из другого, существующих более долгое или более короткое время. Относительно предельными равновесиями являются и личиночные формы у животных, проходящих метаморфозы.

В тех случаях, когда конъюгируют две сходные системы, например, две капли чистой воды, конечный результат представляет наибольшее сходство с каждой из образующих форм: та же капля воды, только большего размера. Но если сливающиеся капли состоят из растворов соды и соляной кислоты в эквивалентных количествах, то процесс усложняется химической конъюгацией, происходит целый ряд реакций. Конечный результат значительно отличается в этом случае от исходных капель: капля раствора третьего вещества плюс еще некоторое количество рассеявшегося газа. Если, наконец, конъюгантами являются восстановительные и окислительные группировки, различие которых доходит во многих отношениях до химической противоположности, то предельное равновесие, в виде разлетевшихся в атмосфере газов, еще резче отличается от начальных форм. Кризис в этом случае, развиваясь лавинообразно, приходит к взрыву, к «уничтожению» первоначальных организационных форм. Конечно, впечатление «полного разрушения» всегда зависит от ограниченности наших способов восприятия. Существо, которое «видело бы» атомы, совершенно иначе воспринимало бы картину взрыва, гораздо проще и целостнее, без кажущегося нарушения непрерывности.

Взрывной тип кризисов обладает особыми чертами. Взрывные комплексы всякого рода представляют так называемые ложные равновесия. Это значит, что те процессы, которые протекают в форме взрыва, шли и до него, но настолько медленно, что не улавливались обычными способами наблюдения. Так, смесь двух объемов водорода и одного объема кислорода, гремучий газ, от искры «мгновенно» превращается в водяной пар, с огромным выделением теплоты; но это превращение понемногу происходит и без искры, в обыкновенных условиях, хотя для этого и нужны многие миллиарды лет. Таким образом, во взрывных комплексах роль толчка, непосредственно вызывающего взрыв, сводится к ускорению темпа уже идущих процессов.

Лавинообразный ход взрывных кризисов зависит от того, что те активности, которые при нем освобождаются, сами освобождают такие же активности в смежных частях системы. Взорвавшаяся частица пикриновой кислоты взрывает соседние; взбунтовавшийся член коллектива, находящегося в социальном напряжении, поднимает на бунт других, и т. п. Когда освобождаемые в кризисе активности несравнимо превосходят энергию первоначального толчка, наблюдается то, что называют независимостью силы и размеров кризиса от вызывающего агента, лишь бы он был достаточен.

Противоположностью взрывному типу кризисов является тип «замирающий» [там же, стр. 38]. Примером могут служить обратимые химические реакции, скажем, соединение одного из спиртов с кислотой. Когда реакция только начинается, она вся идет в одну сторону — образование эфира, но по мере того, как появляется и увеличивается его количество, возникает и усиливается

противоположный процесс, который, складываясь с первым, дает его видимое прогрессивное замедление. Так дело идет, пока оба процесса не уравниваются вполне и не парализуют друг друга, а система достигнет предельного равновесия. Оно принадлежит к числу тех, которые в физико-химии принято называть «истинными равновесиями» и к которым применим принцип Ле Шателье. Все случаи применимости принципа Ле Шателье могут, в свою очередь, рассматриваться как кризисы *С* «замирающего типа». Замирающий тип кризисов *С* бесконечно распространен в природе: он охватывает весь мир вибраций и задержанных движений.

Замирающий ход кризиса основан на двусторонности и обратимости процессов. Он поэтому существенно изменяется, если одна из двух его сторон сводится к нулю. Так, если из поля соединения спирта и кислоты удаляется весь вновь образующийся эфир, то процесс не задерживается противоположным превращением и идет до конца, пока не получится то количество эфира, для которого имеется материал. Это, однако, не «лавинный» тип кризиса, так как в нем нет самоускорения. Его Богданов называет «средним типом» [там же, стр. 40]. К нему относятся в большинстве полные химические реакции, а также иные, подобные им по ходу, конъюгации. Так, если наступающей армии удастся по частям разрушать силу противника в такой мере, что это не компенсируется благоприятными для него моментами, т. е. если противодействие устраняется из поля этой «реакции», то она может идти до конца по среднему типу.

Перейдем к анализу кризисов *Д*. Пусть имеется однородный комплекс устойчивой структуры, например, кусок твердого металла, который тем или иным способом разделяется пополам. На месте разреза в каждом из двух кусков получается новый «пограничный слой». А пограничный слой находится уже в совершенно иных условиях и приобретает соответственно иные свойства, чем прежде, когда он занимал внутреннее положение. Процесс этого изменения образует вторую стадию кризиса. Начинаются усиленные, по сравнению с прежними, процессы отбора, направленные в сторону приспособления новой пограничной части комплекса к изменившимся для нее условиям. Поскольку среда комплекса в целом остается прежняя, постольку можно ожидать, что эти процессы будут приводить «к схождению» новой пограничной части с имевшимися раньше такими же. А далее структурные изменения неизбежно распространяются от нового пограничного слоя сначала на ближайший к нему внутренний, затем на следующий и т. п. Это — третья стадия преобразования, которая и должна привести к предельному равновесию. Скорость достижения предельного равновесия зависит от *пластичности* комплексов, а степень схождения с первоначальной формой — от *однородности* организационного материала. Однородность материала разделившихся комплексов не исключает какой угодно его сложности.

Понятие кризиса, т. е. структурного преобразования орга-

низационной формы, для тектологии универсально. Всякое изменение, когда познавательный интерес сосредоточен именно на нем, на различии форм в его начале и конце, должно рассматриваться как особый кризис. Всякая «непрерывность» может быть разбита анализом в бесконечную цепь кризисов. Из универсального понятия о кризисах вытекает еще одно важное следствие: вывод о кризисах разных «степеней» или «порядков». Можно говорить о кризисах первого, второго и т. д. порядка [там же, стр. 66].

Диалектика процессов организации

Пусть образуются какие-нибудь новые группировки тех или иных элементов. При этом связи между элементами могут получиться различные, как по своему типу, так и по степени устойчивости. Судьба этих группировок может быть также очень различна. Но пусть организационный процесс идет дальше. Образовавшиеся группировки развиваются, притом в некоторой взаимной связи; а если так, то их неизбежное *расхождение* направляется, как мы знаем, в сторону *дополнительных соотношений*, ибо регулирующий механизм отбора поддерживает такого рода изменения, поскольку они увеличивают структурную устойчивость группировок. Наступает второй момент — *фаза системных дифференциаций*. Дополнительные соотношения могут создаваться по разным направлениям, но каждое из них, если его выделить в познании, легко выражается в виде определенной тенденции, «поляризующей» систему в две стороны. Сама по себе фаза системных дифференциаций не завершает организационного процесса, хотя он, конечно, иногда на ней и прекращается, путем, например, распада всей системы. Настоящее завершение достигается через устранение тех противоречий, которые присущи системному расхождению вообще. Чем шире и глубже конъюгационный базис данной группировки элементов, тем меньше дезорганизующая роль частичных расхождений, тем больше они сводятся к дополнительным связям, укрепляющим целое. Это — *фаза системной консолидации*. Консолидация достигается путем конъюгации, проходящей через возникающие системные расхождения, путем, следовательно, *контрдифференциации*. В ее процессе механизм отбора усиливает и закрепляет устойчивые, повторяющиеся соотношения, ослабляет и разрушает неустойчивые, случайные; элементы и группировки, стоящие в противоречии со связью целого, отрываются, выделяются из него; целое «консолидируется».

В первой фазе организационный акт намечается кризисами *С*. Во второй он разворачивается на основе кризисов *D*, за которыми во всяком системном расхождении могут следовать, переплетаясь с их рядом, производные кризиса *С*. В третьей он завершается целостным оформлением системы на основе кризисов *С*, с производными *D*. Те же три фазы при исследовании обнаруживаются во всяком организационном процессе природы, во всяком органи-

зационном акте человека. Эта формула трех фаз может применяться не только к собственно организационному акту, а ко всякому тектологическому переходу форм, к *«тектологическому акту»* вообще.

Как в практике, так и в познании процессы отбора, управляющие развитием из второй фазы (системной дифференциации) в третью (системной консолидации), могут чрезвычайно сокращаться и ускоряться при наличии раньше сложившегося механизма «метода». Различные механизмы отбора принадлежат все к типу «отливочной формы», таковы по существу и механизмы «метода». Это определенные, устойчивые группировки прежнего опыта, которые для вступающего вновь материала играют роль как бы направляющих каналов, по которым он должен вливаться в систему [там же, стр. 81].

Одна из проблем организационной диалектики — проблема структурного прогресса и регресса. Простейшие критерии для них связаны с понятиями количественной и структурной устойчивости. Организованность повышается количественно, когда в рамках данной формы, при данной ее структуре, объединяется, накапливается более значительная сумма элементов-активностей. Структурно организованность повышается тогда, когда в рамках системы ее активности соединяются с меньшими дезингрессиями. Количественное повышение организованности может идти рядом со структурным ее понижением, и наоборот. Практически та или иная сторона превалирует, и вопрос о «регрессе» или «прогрессе» решается принципиально просто.

Когда вопрос ставится о прогрессе форм в более общем смысле, то организационная задача выступает в еще гораздо менее определенном виде, приходится принимать в расчет самые различные сопротивления, не только по величине, но и по характеру. Понятно, что и возрастание суммы активностей данного комплекса, и гармонизация их связи, т. е. уменьшение внутренних дезингрессий, позволяют в более значительном масштабе преодолевать разрушительно направленные активности сопротивления среды. Но так как тут существенна и самая форма этих враждебных моментов среды, то приходится оценку относить не ко всем возможным случаям, а только к наиболее постоянным, повторяющимся условиям среды с их типическими, наиболее вероятными изменениями.

Нередко бывает так, что в живом комплексе, например, в организме, одни группировки элементов развиваются по количеству связей, другие же регрессируют, или остаются в прежнем виде, или тоже развиваются, но не вполне параллельно, а отставая от первых. Случай такого рода ставит перед нами другой вопрос. В природе нередко встречается приспособление к *суженной обстановке* путем так называемой редукции. Это, конечно, тоже результат отбора, приспособления, выгодный для данных видов в их борьбе за жизнь. Но можно ли признавать это организационным прогрессом? Для точного ответа надо принять во внимание связь между

формой и средой не данного только момента, а во всем историческом их развитии.

Тогда окажется, что *мировая* среда вообще *изменчива*; а ею, в конечном счете, определяется конкретная среда всякой данной формы. Поэтому, если понятие прогресса означает такой характер развития, который обуславливает *победы* данной формы над ее средой — не одну частную победу, а победы вообще, возрастающую возможность завоевания элементов среды, — то это понятие должно относиться к условиям *изменяющейся* среды. Правда, изменения могут быть бесконечно разнообразны, и никакой тектологический прогресс не приспособляет форму ко всем возможным изменениям, но он должен приспособлять ее к типическим, *наиболее повторяющимся*, наиболее вероятным изменениям среды. Разумеется, для различных частей мировой среды типические изменения могут быть различны. Однако для них легко установить одну общую черту, тем более постоянную, чем в большем масштабе времени среда берется. Это — *расширение* среды, равносильное также ее *усложнению*.

Систематический, устойчивый прогресс разумеется как *завоевание* среды; а оно означает углубление, проникновение в ткань ее комплексов, увеличивающее сумму соотношений с нею и их разнообразие, что и выражается терминами «расширение», «усложнение» среды. Редуцирующее развитие приспособляет систему к среде *суживающейся*, т. е. к некоторым временным и частным условиям, а не к типическим изменениям. Но тем самым предопределяется, в общем, неприспособленность к среде расширяющейся, типически-изменчивой. Это, очевидно, структурный регресс. Он, без сомнения, часто сопровождается количественным прогрессом, но лишь временным и частичным.

Итак, приспособление к суженной среде само по себе должно рассматриваться как структурный регресс, потому что ведет к сокращению организационных возможностей.

Вопрос о прогрессе организованной формы в ее сложной изменчивой среде не решается, следовательно, простой констатацией того, что сумма элементов данной формы возросла или что дезингрессия в отдельных ее группировках уменьшилась. То и другое можно назвать «элементарными фактами прогресса», количественного и структурного. Затем еще должен быть решен вопрос о соотношениях этих элементарных фактов, т. е. находятся ли они в организационном соответствии между собой, в «гармонической» связи; их дисгармония есть момент общего структурного регресса. И, наконец, даже в рамках гармонии между ними остается вопрос о расширении или сужении возможностей дальнейшего тектологического развития. Фактически первое выражается в возрастании многообразия и разносторонности группировок; второе — в их уменьшении, причем последний случай есть также момент регресса. «Чистый» прогресс, не связанный с регрессивными моментами, есть лишь предельное понятие, тектологическая схема.

В действительности эти моменты всегда примешиваются к прогрессу, и дело только в соотношениях двух сторон, в большей или меньшей степени перевеса одной над другой.

Таковы основные положения «Тектологии» А. Богданова. Естественно, что данное нами изложение их не может не быть субъективным. Мы излагали относительно подробнее те разделы и положения, которые казались нам более актуальными с точки зрения современной науки.

В свое время идеи богдановской тектологии не получили широкого распространения и большинством не были поняты. Но было бы неправильно думать, что «Тектология» А. Богданова потерпела неудачу главным образом из-за философских ошибок ее автора. Ведь не помешали же философские воззрения Эйнштейна и Винера торжеству теории относительности и кибернетики. Причину нужно искать скорее в господствующем интеллектуальном климате времени, когда даже среди наиболее передовых представителей естествознания не было ясно осознанной потребности в изучении универсальных типов структур и систем и универсальных принципов организации. Конечно, тенденция к обобщению научных методов и установлению универсальных принципов существовала всегда, но она не захватывала сколько-нибудь широкий круг исследователей. Положение резко изменилось лишь в 40-х и особенно 50-х годах XX в., когда рождение кибернетики убедительно показало плодотворность сближения и синтеза принципов и методов самых различных научных дисциплин.

Уже у Н. Винера можно найти немало идей, общих с тектологией, но особенно близок к тектологии У. Росс Эшби, которого объединяет с Богдановым абстрактность подхода к предмету исследования, явная общность (вплоть до поразительных совпадений) вводимых понятий и даже манера изложения материала, не говоря уже о близости самого предмета исследования. Как и А. Богданов, Эшби придает большое значение отбору, рассматривая его в плане эволюции живого и в плане поведения любой системы. Но у Богданова богаче разнообразие форм отбора и глубже анализ этих форм. Использование анализа форм отбора, произведенного А. Богдановым, в современной биологии, по-видимому, было бы плодотворным. Очень сходно обоснование А. Богдановым и Эшби изоморфизма систем как предпосылки для моделирования. «Они одинаково широко понимают обратную связь», — пишет М. И. Сетров [39, стр. 61—62]. К этому можно добавить, что «теорема вето» Эшби представляет формализованный «принцип наименьших». Особенно тектологична книга Эшби «Конструкция мозга» [58].

Распространение идей кибернетики и «общей теории систем» Бергаланфи, о которой речь пойдет дальше, подготовило интеллектуальную почву для «вторичного открытия», казавшееся, полностью и надолго забытой «Тектологии» А. Богданова. Одним из первых оценил тектологию польский ученый Тадеуш Котарбиньский [68, str. 17], создатель «праксеологии» (имеющей

много общего с тектологией). Позднее тектология стала получать ту или иную степень признания также со стороны ряда других авторов (Уемов [45], Тахтаджян [42], Сетров [38], [39], Боголепов [7], Блауберг, Садовский и Юдин [3], [4], Малиновский [26], [27], [29] и др.). Как совершенно правильно пишет В. П. Боголепов [7, стр. 43], «говоря о труде Богданова, надо особо подчеркнуть ряд утверждений автора, не только перекликающихся с основами кибернетики, но свидетельствующих о том, что он частично заглядывал дальше, нежели впоследствии официальные зачинатели этой науки (Н. Винер и др)». Авторы работы [4, стр. 13] справедливо считают тектологию Богданова первой развернутой попыткой системного подхода в науке: «Исследования, проведенные уже в наши дни, показали, что многие важные идеи и принципы кибернетики, сформулированные Н. Винером и особенно У. Росс Эшби, значительно раньше, хотя часто в несколько иной форме, были выражены А. А. Богдановым. В еще большей мере это относится к «общей теории систем» Л. фон Берталанфи, идейная часть которой во многом предвосхищена автором тектологии. В частности, именно А. А. Богданову принадлежит первая в истории науки формулировка всеобщего значения принципа организованности, опирающаяся на попытки его широкого обоснования данными естественных и общественных наук». Наконец, как пишет М. И. Сетров [39, стр. 59], «многие общетеоретические проблемы системного подхода разработаны А. Богдановым полнее и более строго, чем в современной теории систем и кибернетике». Все это, несомненно, правильно, и тем досаднее, что тектология столь долгое время оставалась вне поля зрения.

«Общая теория систем» Людвига фон Берталанфи

По-видимому, независимо от А. А. Богданова (несмотря на изданный в Берлине немецкий перевод двух первых частей «Тектологии») к сходным идеям пришел известный биолог Людвиг фон Берталанфи. Основную идею своей «общей теории систем» он выдвинул еще в 1937 г. (через 8 лет после выхода в свет третьей части «Тектологии»!) в лекциях, прочитанных на философском семинаре в Чикагском университете. Но его печатные работы по общей теории систем начинают выходить лишь с 1947 г.

Как неоднократно подчеркивает Берталанфи, эволюция современной науки характеризуется замечательным явлением независимого появления сходных общих идей и точек зрения в самых различных ее областях. Тенденция к построению обобщенных (генерализированных) теорий осуществляется в самых различных областях и самыми разнообразными путями.

Кроме общих аспектов и сходных точек зрения, мы находим в разных областях науки также формально идентичные или изо-

морфные законы. Как хорошо известно в физике, одни и те же дифференциальные уравнения применимы, например, к движению жидкостей, теплоты и электрического тока в проводках. Но, по мнению Берталанфи, значение этого факта и те возможности, которые он открывает вне области физики, едва ли учитывались *. Исходя из этого, Берталанфи приходит к выводу о существовании структурного соответствия, или логической гомологии, систем, независимо от их специфических особенностей, от природы составляющих их элементов и от действующих между ними «сил». В мире существует структурное единство, выражающееся в существовании изоморфных черт порядка на разных его уровнях. Именно поэтому мы находим изоморфные законы в самых разных областях науки.

Необходимость в науке, развивающей принципы и модели, общие для разных областей, часто подчеркивалась за последние годы, пишет Берталанфи [61, стр. 139]. Но в качестве примера он ссылается только на работы Винера по кибернетике, на «общую семантику» А. Кожыбского, на идею Scientific Generalists, выдвинутую Бодом и другими, и «многие другие публикации». По мнению Берталанфи, однако, ясная формулировка проблемы и систематическая ее разработка, по-видимому (apparently), никогда не были сделаны [там же]. Досадное заблуждение.

Эти соображения привели Берталанфи к постулированию новой, как ему казалось, научной дисциплины, названной им «общей теорией систем». Он рассматривает ее, с одной стороны, как логику-математическую область, содержанием которой является формулирование и дедукция принципов, действительных для «систем» вообще. Существуют общие принципы и законы систем, применимые к любым системам данного типа. Тот факт, что многие науки имеют дело с системами, приводит к формальному соответствию, или логической гомологии, в их общих принципах и даже в их специальных законах.

С другой стороны, общая теория систем есть одновременно и эмпирико-интуитивная дисциплина, которая сама по себе чисто формальна, но применима ко всем наукам, имеющим дело с системами. Под системой Берталанфи понимает «комплекс элементов, находящихся во взаимодействии». Изучение общих принципов разнородных систем ведет к интеграции науки, к ее единству. По мнению Берталанфи, «общая теория систем» должна дать логическое определение понятий «система», «организация», классифицировать основные типы систем и разработать математические модели для их описания. Берталанфи подчеркивает значение для современной науки понятия «организация» и стремится к созданию «общей теории организации», не учитывая того, что уже существовала «всеобщая организационная наука» А. А. Богданова.

* В действительности, как мы знаем, на значение как этого, так и многих аналогичных фактов указывалось задолго до выступлений Берталанфи.

Общая теория систем не является, как это подчеркивает Бер-
таланфи, математикой. Она не представляет собой также поисков
смутных и поверхностных аналогий между физическими, биоло-
гическими и социальными системами. Изоморфизмы, изучаемые об-
щей теорией систем, есть следствие того факта, что в определенных
аспектах соответствующие абстракции и концептуальные модели
оказываются применимыми к разным явлениям. Но это не значит,
что физические системы, организмы и общества суть одно и то же.
Берталанфи говорит лишь о структурном сходстве теоретических
моделей, применяемых в различных областях: все дело в изомор-
физме структур разных уровней организации. Уместно напомнить
в этой связи, что эта идея уже была прекрасно сформулирована
автором «Тектологии», хотя и без употребления математического
понятия «изоморфизм».

Очень важной задачей общей теории систем Берталанфи счи-
тает обобщение таких физических принципов, как закон наимень-
шего действия, принцип Ле Шателье или условия сохранения ста-
ционарных состояний и периодических колебаний, с целью их
применения к системам вообще. Необходим, в частности, генера-
лизованный принцип наименьшего действия, применимый не
только к физическим системам, но и к системам любого рода, го-
ворит Берталанфи [62, стр. 339], не зная, очевидно, о том, что эта
проблема глубоко и разносторонне разработана в «Тектологии»
Богданова. По мнению Берталанфи, для многих областей необ-
ходима также общая теория периодических процессов: проблемы
затухания колебаний выступают в физике, в неврологии, в теории
биоценозов, в теории экономических циклов и т. д. Вместе с тем
такие проблемы и понятия, как прогрессивная механизация, цен-
трализация, индивидуальность, ведущая часть и т. д., чужды физи-
ку, но они являются основными для биологических и социологи-
ческих областей и требуют точного анализа.

Существование общих законов сходных структур в разных об-
ластях позволяет использовать более простые или лучше извест-
ные системы как модели для систем более сложных или менее под-
дающихся изучению. Изоморфизм является, как указывает Бер-
таланфи [62, стр. 339], основой для использования моделей и
модельных концепций в науке. Фактически прогресс науки в зна-
чительной степени основан на удачных модельных концепциях.
Поэтому общая теория систем должна явиться средством контроля
и стимулирования применения модельных концепций и перене-
сения принципов из одной области в другую, она избавит от необ-
ходимости открывать дважды или трижды одни и те же принципы
в разных изолированных друг от друга областях *. В то же время

* В первой части «Тектологии» А. Богданов подробно обосновывает «объединяющее» и
«контролирующее» значение созданной им всеобщей науки о структурах и системах,
а также значение сознательного перенесения принципов и методов из одних наук
в другие.

за счет выработки точных критериев для установления изоморфизмов общая теория систем сумеет противостоять поверхностным аналогиям, которые бесполезны в науке и вредны по своим практическим последствиям [61, стр. 142]. Вообще Берталанфи строго различает поверхностные аналогии и логические гомологии, или изоморфизмы. Законы общей теории систем относятся к классу логических гомологий. Поэтому одной из важных задач этой теории является точное отграничение истинных гомологий, т. е. изоморфных структур и законов, от обманчивых аналогий.

Большое место в общей теории систем Берталанфи занимает понятие открытой системы. В физике теория открытых систем ведет к формулированию некоторых новых положений и принципов. В биологии она объясняет многие характеристики живых систем, которые, казалось бы, находятся в противоречии с законами физики. Кроме того, точка зрения на организм как на открытую систему дает возможность установления количественных законов основных биологических явлений. Как совершенно правильно отмечает Сетров [38, стр. 58], теория открытых систем очень близка к теории подвижного равновесия автора «Тектологии», причем, как и Богданов, Берталанфи распространяет на все динамические системы принцип Ле Шателье.

Берталанфи рассматривает также вопрос об отношении общей теории систем к кибернетике. Кибернетику он считает лишь частью общей теории систем. Большая узость кибернетики по сравнению с теорией систем выражается в принимаемой ею машинной модели биологических явлений и в ограничении ее интересов замкнутыми системами. В этом отношении общая теория систем представляется более революционной, так как, во-первых, она отвергает картезианскую машинную теорию организма, а во-вторых, она основывается на концепции организма как открытой системы. Это влечет за собой другое следствие. Механизм обратной связи представляет собой в сущности одностороннюю причинную цепь. Это не изменяется даже в случае, который может быть назван сложной обратной связью, т. е. когда действуют не один, а несколько регулирующих механизмов, как, например, в системах управления судном. Во многих биологических регуляциях, однако, мы имеем взаимодействие многих или всех элементов, интегрированных в систему. Динамический порядок, не принимаемый во внимание кибернетикой [62, стр. 354], в действительности играет основополагающую роль и представляет более общий случай, чем регуляция по принципу обратной связи. В этом смысле обратная связь представляет собой важный, но специальный случай системного поведения [там же, стр. 360].

Интегративную функцию общей теории систем Берталанфи рисует следующим образом. Унификация науки мыслилась ранее через редукцию всех наук к физике. С точки же зрения Берталанфи единая концепция мира может быть основана не на лапласовской надежде свести в конце концов все уровни реальности к

уровню физики, но скорее на изоморфизме законов в различных областях. С точки зрения концептуального построения науки, т. е. с «формальной» точки зрения, это означает структурное единообразие применяемых нами схем. С точки зрения «материальной» это означает, что мир, т. е. сумма наблюдаемых явлений, обнаруживает структурное единообразие, проявляющееся в изоморфизме структур разных уровней. Таким образом, синтез наук достигается, по Берталанфи, не путем сведения всех наук к физике («редукционизм»), а на основе изоморфизма законов в различных областях («перспективизм»). Объединяющий принцип заключается в том, что мы находим организацию на всех уровнях [63, стр. 8]. По выражению экономиста Боулдинга, «общая теория систем есть скелет науки в том смысле, что ее целью является разработка основ или структур систем, на которые наращивается плоть и кровь отдельных дисциплин» [8, стр. 124].

Идеи и принципы общей теории систем развиваются многими последователями Берталанфи. Некоторые из наиболее важных работ содержатся в русском переводе в сборнике «Исследования по общей теории систем» (М., 1969). Здесь же упомянем только очень важную и интересную статью А. Холла и Р. Фейджина [67], в которой они дают определение системы и среды и вводят понятие «субсистемы»: каждая данная система может быть подразделена на субсистемы, т. е. имеется «иерархический порядок систем». Вводимые этими авторами понятия «прогрессирующей сегрегации» и «прогрессирующей систематизации» соответствуют системному расхождению («системной дифференциации») и «системной контрдифференциации» в «Тектологии», где они, на наш взгляд, проанализированы гораздо глубже и шире. То же нужно сказать о «централизации», «централизованных системах» и «прогрессирующей централизации» в статье Холла и Фейджина. Все эти вопросы уже были довольно детально разработаны во II томе «Тектологии» (глава «Формы централистические и скелетные»).

Таким образом, как формулировка предмета и задач «общей теории систем», так и ряд основных ее обобщений чрезвычайно близки к тектологии А. А. Богданова. Но в то же время общая теория систем менее разработана и уже, чем типология; так, в общей теории систем слабо развита тектология систем и нет концепции регулирующего механизма отбора.

Современные проблемы тектологии

Некоторые основные понятия

Понятие системы. Любой объект, будь то физический, лингвистический, художественный или концептуальный, можно рассматривать как некоторую систему, состоящую из более или менее взаимосвязанных элементов. Для тектологии системой является любое сочетание любых элементов, будь то солнечная систе-

ма, планета, молекула, атом, река, водопад, пламя, облако, организм, биоценоз, человеческое общество, научная теория, силлогизм, понятие, слово или морфема. При этом подразумевается, что элементы данной системы связаны между собой более тесно, чем с элементами, не входящими в нее. При таком очень широком понимании понятия системы даже куча камней или случайное скопление людей на улице могут рассматриваться как системы, хотя и чрезвычайно низко организованные. Как бы ни были слабы связи между камнями в куче, они все же менее слабые, чем связи с камнями, не входящими в данную кучу. Из такого определения следует, что любая система характеризуется некоторой, хотя бы даже очень слабо выраженной, обособленностью и некоторой относительной целостностью. Другими словами, система характеризуется некоторой степенью организованности *.

Понятие субсистемы. Любая система есть совокупность элементов. Элементы — компоненты объекта, на которые, в зависимости от задачи (практической или познавательной), нужно материально или концептуально расчленить систему. Они могут быть любого порядка сложности и любой степени соподчинения. Так, например, элементами организма можно, в зависимости от поставленных задач, считать органы, ткани или отдельные клетки. Как только любой из элементов системы потребуется расчленить дальше, он может в свою очередь рассматриваться в качестве системы, т. е. сочетания каких-либо элементов следующего порядка. Таким образом, элементы системы можно рассматривать как субсистемы. В то же время одна и та же совокупность элементов в одном случае может рассматриваться как система, а в другом случае, при решении других задач — как часть некоторой большей системы, в которую она входит (см. [25, стр. 19]). Этим определяется относительность этих двух элементарных тектологических понятий.

Структура. Любая система характеризуется некоторой, хотя бы даже очень слабо выраженной, структурой. Под структурой системы понимается совокупность существенных связей между ее элементами (см. [59, стр. 360]), т. е. тип и форма внутренней организации системы. Структура представляет собой инвариантный аспект системы ([32], [35]) **. Любая система, которая может быть расчленена на субсистемы, имеет тем самым структуру. Соподчиненные классы субсистем последовательно включены один в дру-

* В этом смысле можно согласиться с Г. Кастлером, который пишет: «Системой называется организованное целое, состоящее из взаимосвязанных частей. Организация основана именно на существовании между ними взаимных связей» [17, стр. 40].

** «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», — пишет Н. Ф. Овчинников [33, стр. 119]. Он несомненно прав, считая, что «поиски структурных инвариантов или, иначе, исследование структур и симметрии природы становятся в современной науке не менее вдохновляющей задачей, чем поиски причины явлений» [там же, стр. 121].

гой, и структура имеет, следовательно, иерархический характер. Таким образом, систему можно рассматривать как множество подсистем. Полученное в результате расчленения (декомпозиции) множество всех подсистем будем (вслед за М. Тода и Э. Шуффордом [44, стр. 336]) называть *D*-множеством *M*-системы. Очевидно, существует столько же *D*-множеств данной системы, сколько способов ее расчленения (а способов расчленения существует, как правило, более одного). Отсюда определение структуры: «При данном *D*-множестве *M*-системы ее структура определяется как *вся совокупность отношений между подсистемами, принадлежащими данному D-множеству*» [44, стр. 345]. Это, несомненно, логически безупречное и наиболее содержательное определение одного из основных понятий тектологии. Но, как указывают авторы этого определения, необходимо подчеркнуть одно важное обстоятельство: «Невозможно осмысленно говорить о структуре, пока не указано и не осознано *D*-множество, с учетом которого определяются отношения. Так, например, структура человеческого тела, представленная в терминах отношений между мышцами, нервами, железами и т. д., может не удовлетворить спрашивающего. «Это я хорошо знаю. Я хочу узнать, как тело построено из клеток». — О, вы хотите узнать структуру тела на этом уровне. Пожалуйста...». Таким образом, структура системы зависит от того, какое из возможных *D*-множеств системы выбрано для описания структуры» [там же, стр. 345—346].

Структура *M*-системы остается инвариантной до тех пор, пока остаются неизменными отношения между подсистемами данного *D*-множества, причем они могут остаться неизменными даже при замене подсистем (например, частей машины или членов человеческого коллектива). Как и все тектологические понятия, понятие изменения структуры относительно. Так, структура научного института может не измениться с изменением числа сотрудников, но она изменится, если изменится число лабораторий (которые справедливо рассматриваются как основные «структурные единицы» научного института). Она может измениться даже при постоянном числе лабораторий, если изменится характер взаимоотношений между ними (слабо развитая ранее лаборатория может занять ведущее положение в институте и существенно изменить его научный профиль). Другой пример: даже небольшая рана меняет структуру организма на клеточном уровне, но не изменяет его структуру на органном уровне. «Все зависит от того, какое *D*-множество используется для рассматриваемой структуры» [там же, стр. 347].

Изоморфизм и гомоморфизм. Между самыми различными системами, имеющими разную физическую природу, сплошь и рядом наблюдается глубокая аналогия в структуре, т. е. в характере связей между элементами. Для описания этой аналогии лучше всего воспользоваться математическими понятиями изоморфизма и гомоморфизма.

Две системы (в математике — множества) называются изоморфными, если их элементы попарно взаимно однозначно соответствуют друг другу. При изоморфизме любому элементу x системы S соответствует один и только один элемент другой системы S^1 , а этому последнему (y) соответствует один и только один элемент x первой системы (взаимнооднозначное, или одно-однозначное, соответствие). При этом две системы изоморфны относительно отношений R и R^1 , т. е. если между какими-то элементами системы S существует отношение R , то соответственно элементы системы S^1 находятся в отношении R^1 , и наоборот. С абстрактной точки зрения изучение структуры двух изоморфных систем сводится к решению одной и той же задачи. Другими словами, любую систему объектов S^1 , изоморфную системе S , можно рассматривать как «модель» системы S и сводить изучение самых разнообразных свойств системы S к изучению свойств «модели» S^1 . Хорошим примером изоморфизма может служить аналогия между различными видами колебаний — механическими, акустическими, электромагнитными и другими. Во всех этих очень различных колебательных движениях есть глубокая изоморфность, что и является основой общей теории колебаний. Примерами изоморфных систем могут служить также негатив и позитив фотоснимка. В изоморфном соответствии друг с другом находятся также техническое устройство, его чертеж на бумаге и его модель; здание, его проект на бумаге и его макет; речь, ее запись на бумаге или на магнитной пленке, и пр. Между прочим, из этих примеров видно, что «степени изоморфности» (количество «совпадающих» элементов) могут быть очень различны.

В отличие от изоморфизма, гомоморфизм представляет собой такое соответствие между двумя системами, которое не является взаимнооднозначным. При гомоморфизме любому элементу x системы S соответствует элемент системы S^1 , причем, разным элементам системы S не обязательно соответствуют разные элементы системы S^1 (т. е. элементы могут «склеиваться»). Если изоморфизм можно сравнить с точным переводом, то гомоморфизм, по выражению Д. Пойа [35], есть своего рода систематически сокращенный перевод. Другими словами, при гомоморфизме аналогия между двумя системами меньшая, чем при изоморфизме, и одна из систем является как бы упрощенной копией другой (например, географическая карта по отношению к местности). Если рассматривать взаимнооднозначное соответствие как предельный случай соответствия, то изоморфизм можно считать частным случаем гомоморфизма. Поэтому любой пример изоморфизма можно рассматривать как пример гомоморфизма.

Изоморфизм различных систем, будь то «вещи» или процессы, позволяет моделировать эти системы, т. е. создавать их изоморфные аналоги. Модели могут быть физические, математические, логические, модели-представления и знаковые. Тектологическое понятие системы является логической моделью реальных систем.

Модель системы есть факторизация самой системы по множеству несущественных признаков, т. е. гомоморфное отображение данной системы. Согласно М. Месаровичу [30, стр. 19], абстрактную систему можно понимать «как некоторую абстрактную аналогию или модель определенного класса реально существующих систем. Тогда общую теорию систем можно рассматривать как теорию абстрактных моделей».

Моделирование имеет исключительно большое познавательное и практическое значение. Можно было бы привести многочисленные примеры использования моделирования для объяснения различных явлений природы (см. [52], [13]). Очень интересным примером физической модели является предложенное английским физиком Уильямом Бреггом моделирование расположения атомов в кристаллах при помощи мыльных пузырьков. Оказалось, что между характером расположения пузырьков и расположением атомов твердого кристаллического тела имеется далеко идущая аналогия (см. [18]). Другим ярким примером являются различные попытки моделирования тех или иных явлений деформации земной коры, особенно складчатых форм, а также трещиноватости. Так, хорошо известен эксперимент Кюнена (Kuennen), который для изучения деформации земной коры, вызванной боковым сжатием, производил сжатие горизонтального пластичного слоя из смеси воска и парафина, плавающего в воде. Чтобы воспроизвести по возможности точно свойства земной коры, Кюнен взял три слоя, из которых верхний был наиболее слабым, а нижний — наиболее прочным [11]. Но еще более известны примеры моделирования различных технических устройств и процессов. Моделирование очень широко применяется в аэродинамике, гидродинамике, электродинамике и т. д. Всякая изоморфная модель — механическая, гидродинамическая, аэродинамическая, электрическая, или любая другая — воспроизводит изучаемое явление в условиях, более доступных для наблюдений, контроля и изменения. Моделирование можно рассматривать поэтому как экспериментальное изучение изоморфизма структур. Использование метода моделирования делает возможным использование эксперимента для тектологических исследований.

Открытые и замкнутые системы. Система называется замкнутой, если она не взаимодействует ни с какими другими системами. Замкнутая система — это предельное понятие, так как в реальном мире мы встречаем лишь различные приближения к ней. Однако абстрактная модель может быть вполне замкнута, что дает возможность исследовать свойства таких систем. Любая замкнутая система состоит из открытых подсистем, испытывающих все возможные воздействия со стороны остальных частей системы.

Типичной открытой системой является система, подобная реке, огню, организму, биоценозу, экосистеме или человеческому обществу; такая система не только находится в постоянном взаимодействии со средой, но само существование ее не может продолжаться

без всякого взаимодействия. Если символом закрытой системы считать кусок твердого вещества, то символом открытой системы мы можем считать огонь.

«Изучая открытые системы, — пишет Месарович [30, стр. 26—27], — мы сталкиваемся с задачами совсем иного рода, чем при изучении замкнутых систем. Большинство принципиальных трудностей теории статистических решений и автоматического управления связано с тем, что рассматриваемые там системы являются открытыми и решения необходимо принимать при наличии неопределенностей. Тот факт, что некоторые физические системы моделируются только открытыми системами, имеет первостепенную познавательную ценность».

Ограничение разнообразия. Если бы изменение всех элементов системы было совершенно свободным, т. е. если бы эти изменения не подчинялись каким-либо ограничениям, то они были бы настолько хаотичны, что мы не уловили бы в них никаких закономерностей. В действительности, однако, мы на каждом шагу встречаемся с той или иной формой и той или иной степенью ограничения разнообразия возможных изменений. Как пишет У. Росс Эшби [57, стр. 185], «существование любого инварианта в некотором множестве явлений подразумевает наличие ограничения (в английском оригинале *constraint*. — *A. T.*) разнообразия. В самом деле, существование инварианта означает ведь, что осуществляется не вся область разнообразия. Следовательно, вся теория инвариантов есть часть теории ограничений разнообразия». И так как «любой закон природы подразумевает наличие некоторого инварианта», то, по удачному выражению Эшби, «всякий закон природы есть ограничение разнообразия». Таким образом, понятие «ограничение разнообразия» является одним из фундаментальных понятий тектологии.

Существует два основных типа ограничения разнообразия, которые, вслед за Голдманом [14, стр. 365], мы назовем фиксированными и вероятностными. Фиксированные ограничения — это некоторые специфические связи элементов систем, определяющие возможность одних изменений и невозможность других. Фиксированные ограничения присущи, например, механизмам и любым кодам — телеграфному, наследственному и др. В отличие от фиксированных ограничений, вероятностные ограничения относятся только к средним значениям. Вероятностные ограничения характерны, например, для мутационного процесса или для развития языков.

В зависимости от характера ограничения разнообразия существует два типа систем — системы вероятностных ограничений и системы фиксированных ограничений. К первому типу относятся все системы с неупорядоченными связями элементов. Для таких относительно неупорядоченных, нефиксированных систем характерно отсутствие какой-либо определенной, более или менее жесткой организации, и их элементы под влиянием тех или иных фак-

торов свободно изменяют свои отношения друг с другом, т. е. они не закреплены какими-либо постоянными определенными и фиксированными связями. Системами подобного типа являются, например, любые газы, жидкости, туманности, колонии бактерий, популяции и др. Вселенная в целом, возможно, тоже является системой вероятностных ограничений. Системы же фиксированных ограничений характеризуются достаточно определенной и жесткой связанностью их элементов, в той или иной степени затрудняющей возможность их свободного перераспределения. В таких системах, например в машине, взаимное распределение элементов фиксировано определенной непрерывностью и постоянством связей.

Понятно, что реальные системы дают нам примеры различных переходов между этими двумя крайними типами и одна и та же система может характеризоваться вероятностными ограничениями в одних отношениях и фиксированными в других. Так, например, уже сформировавшаяся локальная амфимиكتическая популяция растений, особенно древесных, в фенотипическом отношении характеризуется многими чертами систем фиксированных ограничений, в то время как с точки зрения происходящих в ней генетических рекомбинаций она, наоборот, приближается к системам вероятностных ограничений.

Гетерогенные и гомогенные системы. Системы могут быть гомогенные, гетерогенные или смешанного типа. В гомогенных системах, например, в газах, жидкостях или в популяции организмов данного вида, элементы их однородны и поэтому взаимозаменяемы. Гетерогенная же система состоит из разнородных элементов, не обладающих свойством взаимозаменяемости. Гетерогенными системами являются, например, солнечная система, атом, любые механизмы, организмы, клетки, биоценоз, экосистема и пр. Гетерогенная система в свою очередь может состоять из элементов, являющихся гомогенными системами. Так, например, растительное сообщество, обычно являющееся гетерогенной системой, состоит из гомогенных элементов — синузий. Подобным же образом гомогенная система может в свою очередь состоять из элементов, представляющих собой гетерогенные системы. Так, любой газ или жидкость состоят из атомов, а любая популяция — из организмов. Кроме того, различия между гомогенными и гетерогенными системами не являются абсолютными. В любой гомогенной системе мы найдем элементы гетерогенности, так же как в каждой гетерогенной системе имеются элементы гомогенности. Более того, одна и та же система может рассматриваться в одних отношениях как гомогенная, а в других — как гетерогенная. Так, фенотипически гомогенная популяция организмов может с генетической точки зрения рассматриваться как существенно гетерогенная. Все зависит от задач исследования.

Дискретные и непрерывные системы. Как гомогенные, так и гетерогенные системы могут быть дискретными или непрерывными.

Эти понятия, как и все остальные тектологические понятия, относительны. Одна и та же система может быть с одной точки зрения (в зависимости от той структуры системы, которую мы рассматриваем) дискретной, а с другой — непрерывной. Так, например, в одних опытах (интерференция, дифракция) свет проявляет волновые свойства (непрерывность), а в других опытах (фотоэффект) — корпускулярные свойства. Хромосома морфологически есть система непрерывная, но с точки зрения возможностей генных рекомбинаций она является дискретной («корпускулярной»). Точно так же и Вселенная может рассматриваться как структура дискретная (дискретность небесных тел) и как структура непрерывная (общая связь всех космических процессов).

Одной из чрезвычайно широко распространенных форм гомогенно-непрерывного типа являются периодические системы, т. е. системы, характеризующиеся однообразной повторяемостью соотношений между элементами. Так, две пространственные петли правильной сети связаны между собой совершенно так же, как любые две другие петли той же сети. Аналогичным образом осуществляется связь между рисунками на обоях или между элементами в кристаллических структурах. Одна из существенных особенностей периодической структуры заключается в том, что новые ее элементы, например новые петли сети, могут прибавляться во всех направлениях, не нарушая при этом структуры. С этой точки зрения «кристаллическая структура должна рассматриваться как бесконечно протяженная система. Именно так представляют себе модели структур современные кристаллографы. Аналогичные соображения можно применить и к другим телам, растущим в природе» [49, стр. 41]. С этим связано применяемое в учении о симметрии очень важное понятие о переносах или «трансляциях» (см. по этому вопросу [49, стр. 41—42]).

Элементарные формирующие процессы

Соединение и разделение. Еще Фрэнсис Бэкон указывал в «Новом органоне», что основными и элементарными процессами, к которым можно свести все происходящее в мире, являются соединение и разделение. Это положение развито в «Тектологии» Богданова. Основой формирующего тектологического механизма он считает соединение комплексов, обозначаемое им термином «конъюгация». Я предпочитаю рассматривать конъюгацию как один из типов более широкого понятия конъюнкции.

Основные типы конъюнкции. Любое соединение систем сопровождается той или иной степенью их изменения. Характер и степень конъюнкции, соответственно, ее результаты могут быть широко различны. Крайним случаем является коллизия, приводящая к большей или меньшей структурной дезорганизации и, наконец, полному разрушению одной или обеих сталкивающихся систем. Коллизия является следствием антагонистических взаимодействий

между элементами контактирующих систем. Таковы, например, столкновение двух стеклянных тел, когда они при взаимном ударе разбиваются, большинство случаев военного столкновения или сложение двух волн одинаковой амплитуды, но сдвинутых по фазе на полпериода. В тех же случаях, когда контактирующие системы не разрушаются, между ними может происходить более или менее глубокое взаимодействие, приводящее к той или иной степени преобразования систем. Таков, например, идейный контакт в дружеской научной дискуссии, приводящий к изменению точек зрения ее участников. Таковы же процесс конъюгации двух инфузорий или конъюгация хромосом при кроссинговере. Подобные случаи конъюнкции можно вполне называть конъюгацией, употребляя это слово в универсальном, а не в биологическом его значении. При этом преобразование систем может быть столь глубоким, что происходит полное их изменение с появлением качественно новых, *эмергентных* свойств, как, например, в случае соединения кислорода и водорода с образованием воды.

Наконец, третьим типом конъюнкции является простое *слияние* (амальгамация) двух систем без существенного их преобразования и без появления существенно новых эмергентных свойств. Таковы, например, слияние двух волн одинакового периода и фазы. Конечно, в своем чистом виде амальгамация является лишь предельным понятием, но в реальном мире многие случаи конъюнкции приближаются к ней.

Если системы не разрушаются, не разъединяются вновь или же не сливаются, образуя новую систему, то они остаются во взаимной связи, продолжая взаимодействовать. Этот случай наиболее простой и распространенный. Таково, например, соединение звеньев в цепь, идей в теорию или людей в общественную организацию. На чем же основывается такая связь? Она обеспечивается посредством общих звеньев, создающих цепную связь.

Цепная связь. Связь двух любых «конъюгирующих» систем создается на основе какого-либо общего элемента, входящего в обе системы. Для цепной связи двух систем должен существовать хотя бы один такой общий элемент, притом достаточный для того, чтобы противодействовать разъединяющим силам.

Совокупность общих элементов между системами, входящими в цепную связь, представляет собой связующее звено, или «связку», по терминологии Богданова. Связующее звено выступает как поле контакта (часто конъюгации) между системами. Связкой может быть, например, общая поверхность трения, спайки или сцепления, общая цель у людей или общие элементы между двумя понятиями, идеями, научными теориями или художественными образами. Но при слишком большой разнородности двух систем они вступают в цепную связь не непосредственно, а через третью посредствующую систему (*промежуточное звено*), которая образует связку с каждой из них. Особенность промежуточного звена заключается в том, что оно обладает общими элементами с каждым

из крайних звеньев. Такими промежуточными звеньями являются, например, клей при склеивании двух предметов, цемент и гвозди, употребляемые в строительстве, примирительное посредничество между двумя враждующими сторонами и пр. Методом промежуточных звеньев пользуются в процессе обобщения (выделение общих элементов), при построении эволюционных рядов организмов («промежуточные типы») или при доказательстве математической теоремы.

Цепная связь может быть двух типов: однородная, или симметричная, и неоднородная, или асимметричная [5, ч. 1, стр. 134]. В первом случае система цепной связи состоит из однородных элементов. Примерами симметричной цепной связи могут служить цепь из одинаковых звеньев, частокол, трамвайный поезд, сосуды ксилемы, состоящие из одинаковых члеников, или группа студентов, готовящихся вместе к экзамену. Во втором случае системы неодинаковы и отношения между ними тоже неодинаковы (несимметричны)*.

Дизъюнкция. Наряду с образованием новых цепных связей повсеместно наблюдается разрыв старых связей, разделение того, что раньше было связано. Таким путем система распадается на отдельные части, что в одних случаях означает разрушение, дезорганизацию, а в других случаях — лишь разделение или размножение. Разрыв любой цепной связи происходит в результате ослабления и уничтожения связки, т. е. акта «дезингрессии», как его называет Богданов. Когда связка становится настолько слабой, что уже не способна удерживать в цепной связи две системы, они обособляются, отделяются друг от друга.

Всякая система представляет собой нечто более или менее индивидуальное, отдельное, автономное. Мир квантован на всех структурных уровнях, начиная со света и микромира атомов и кончая Вселенной. Другими словами, он состоит из отдельностей, элементы которых также представляют собой отдельности. Отдельности существуют благодаря перерывам некоторых ранее существовавших связей, которые создаются дезингрессией [5, ч. 1, стр. 155]. Если бы не было дезингрессий, то не было бы и отдельных систем и подсистем. В природе не было бы структурных отдельностей, вообще не было бы отдельных «предметов», «вещей», «явлений». Дезингрессию далеко не всегда легко обнаружить, но мы можем постулировать ее во всех случаях квантованности.

* По мнению И. И. Шафрановского (личное сообщение), пользуясь новыми расширенными понятиями о симметрии — антисимметрии и симметрии подобия, сформулированными А. В. Шубниковым ([54], [55]) и др., можно было бы и второй тип отнести к симметричным. Так, пример винта и гайки Шубников использует в качестве примера антиравных (антисимметричных) фигур. А примеры с учеником—учителем или подчиненным—начальником, по мнению Шафрановского, прекрасно укладываются в понятие симметрии подобия, выдвинутое Шубниковым.

Условием существования любой системы является определенная степень ее устойчивости к тем возмущающим воздействиям, которым она постоянно подвергается. В науке и в повседневной жизни слово «устойчивость» (стабильность) употребляется в довольно разных смыслах, но при этом всегда подразумевается, что несмотря на «возмущение», несмотря на то, что система может переходить из одного состояния в другое, она сохраняет некоторые характерные свойства, делающие ее данной системой. Очень хорошо об этом сказал Эшби [52, стр. 109]: «Через все значения слова «устойчивость» проходит основная идея «инвариантности». Эта идея состоит в том, что хотя система в целом претерпевает последовательные изменения, некоторые ее свойства («инварианты») сохраняются неизменными. Таким образом, некоторое высказывание о системе, несмотря на непрерывное изменение, будет неизменно истинным...» Эта истина будет инвариантна для данной системы.

Конечно, всякая устойчивость относительна. Система, вполне устойчивая в определенных условиях, окажется неустойчивой в иных, мало благоприятных для ее сохранения. Но в каждой ситуации устойчивость системы может быть характеризована как с количественной, так и со структурной стороны.

Количественная и структурная устойчивость. Устойчивость системы по отношению к внешним возмущениям может быть характеризована прежде всего чисто количественно. Система, состоящая из большого числа элементов, будет, при прочих равных условиях, и более устойчивой. Так, например, в процессе длящегося веками выветривания горных сооружений более крупные горы, при прочих равных условиях, устойчивее, чем небольшие. Подобным же образом, при высыхании водоемов в одних и тех же климатических условиях скорее высохнут небольшие пруды, чем крупные озера. Однако увеличение числа элементов может повысить общую устойчивость системы лишь в тех случаях, когда это увеличение не приводит к уменьшению структурной ее устойчивости. Так, в случае землетрясения многоэтажные здания разрушаются скорее, чем малоэтажные здания той же конструкции.

В общем можно, по-видимому, утверждать, что количественный фактор устойчивости тем важнее, чем ниже уровень организации системы.

Устойчивость любой системы зависит, конечно, не только от количества ее элементов, но и от способов их сочетания, от характера их структурных связей. Поэтому небольшая гора, состоящая из твердых пород, может обладать значительно большей структурной устойчивостью, чем огромное горное сооружение, состоящее из рыхлых отложений. Аналогичным образом хорошо организованная небольшая армия может быть устойчивее, чем значительно превосходящая ее по численности, но слабо организованная армада.

В то время, как различия в количественной устойчивости двух систем могут сохраняться в самых различных условиях, различия в структурной устойчивости зависят всегда от конкретных условий среды. О структурной устойчивости можно говорить только по отношению к тем или иным конкретным воздействиям, а не по отношению ко всяким воздействиям вообще. Однако та среда, относительно которой данная структура сохраняет свою устойчивость, может быть очень большой и даже иногда практически почти бесконечно большой. Так, например, относительная структурная устойчивость атомов материи сохраняется в весьма различных условиях воздействия среды. По Богданову [5, ч. 1, стр. 202], структурная устойчивость «всегда может быть выражена количественно. Так, в механике всевозможные коэффициенты сопротивления гнущему, разрыву, кручению и пр. являются именно численным выражением структурной устойчивости разных тел по отношению к определенным внешним воздействиям. Что же касается коэффициентов «массы» и «энергии», то они характеризуют количественную устойчивость».

Основные типы структурной устойчивости. Структурная устойчивость бывает двух типов — статическая и динамическая. Статическая устойчивость характерна для систем статического равновесия. Устойчивость здания, горного сооружения, пирамиды Хеопса или Останкинской телевизионной башни — это примеры статической устойчивости систем неподвижного равновесия. Устойчивость таких систем определяется прочностью их конструкции, прочным сцеплением их элементов, но не постоянным их обновлением. Такие системы будут «выветриваться», «стираться», «изнашиваться», пусть даже очень медленно и незаметно для человека. Кривая их разрушения будет все время падать. Совершенно иного типа динамическая устойчивость, характерная для систем подвижного равновесия.

Сравнительная устойчивость систем подвижного равновесия является результатом того, что каждое из возникающих изменений уравнивается другим, ему противоположным, т. е. для них характерно подвижное равновесие изменений. Процессы разрушения и созидания идут в таких системах параллельно и взаимно уравнивают друг друга. Два потока противоположных изменений создают иллюзию статичности. Они обеспечивают динамическую устойчивость системы. Типичным примером может служить равновесие формы водопада, где равномерное течение воды, создающее большую или меньшую иллюзию неподвижности, обеспечивает устойчивость системы. Другим примером такой устойчивости является организм и его отдельные органы, где подвижное равновесие создается процессом ассимиляции и диссимиляции. По Богданову [6, стр. 26], «организм, самовоспроизводящаяся машина жизни, является системой равновесия систем равновесия».

Другой тип динамической устойчивости дает нам периодиче-

ское колебание, различные формы которого имеют колоссальное распространение. Подвижное равновесие и периодическое колебание — явления чрезвычайно близкие. Но если при подвижном равновесии два потока противоположных изменений идут параллельно и уравниваются непосредственно и одновременно, то при периодическом колебании нарушение их равновесия в одну сторону сменяется нарушением в другую, так что уравнивание происходит во времени. Так как всякое кажущееся непрерывным подвижное равновесие можно в принципе разложить на периодически-колебательные элементы (что равносильно обобщению разложения Фурье в гармоническом анализе), то первичным способом сохранения устойчивости следует признать периодическое колебание, а подвижное равновесие — производным.

При определенных условиях периодическое колебание может дать такую же статическую иллюзию «покоя», как и система подвижного равновесия. Достаточно наложить два одинаковых колебания одно на другое противоположными фазами, чтобы они, складываясь, стали восприниматься как «покой».

Принцип наименьших относительных сопротивлений (закон минимума). Во всех тех случаях, когда есть хоть какие-нибудь реальные различия в устойчивости разных элементов системы по отношению к внешним воздействиям, общая устойчивость системы определяется наименьшей ее частичной устойчивостью в каждый данный момент. Так, например, уровень воды в бочке, сделанной из клепок разной длины, определяется длиной самой короткой клепки, общая скорость эскадры определяется наименьшей из скоростей ее отдельных кораблей, а логическая цепь доказательств рушится, если одно из ее важных звеньев не выдерживает ударов критики. Однако в каждый данный момент система подвергается не равным и не равномерным воздействиям в разных своих частях. Так, например, фронт армии подвергается ударам не равной силы в разных пунктах и в разное время, а стены нижних этажей здания выдерживает гораздо большую тяжесть, чем верхних его этажей. Поэтому устойчивость любой системы (если это не абсолютно гомогенная система в гомогенной среде) вовсе не требует абсолютно одинакового сопротивления всех ее частей. Напротив, *относительное* сопротивление разных частей системы должно быть одинаковым. Устойчивость системы как целого зависит от наименьшей *относительной* устойчивости ее частей по отношению к данному внешнему воздействию (в случае со зданием — по отношению к силе тяжести). Такова обобщенная формулировка закона наименьших. Она применима ко всем типам систем — как дискретным (линия фронта), так и непрерывным (здание) *.

* По А. А. Малиновскому [29, стр. 164], универсальным «принцип наименьших» считать нельзя. Он применим лишь к вполне «жестким» системам, но не применим к «корпускулярным» системам. «Корпускулярными» системами А. А. Малиновский называет дискретно-гомогенные системы, которые он характеризует как системы, состоящие из

Как указывает автор «Тектологии», закон наименьших сформулировался независимо в разных областях науки, на разном конкретном материале и в разных формах. Каждой науке приходилось открывать его для себя отдельно, Так, «кроме закона минимума» Либиха, существует «принцип наименьшего действия», или принцип Гамильтона, который утверждает, что действительным движением, реализующимся в природе, является то, для которого интеграл по времени от разности между кинетической и потенциальной энергиями принимает наименьшее значение [23, стр. 18]. Позднее (в 1886 г.) этот принцип был распространен Г. Гельмгольцем на ряд немеханических явлений, а Р. Фейнманом в 1942 г. была открыта его связь с квантовой механикой (см. [48, стр. 110]). В генетике закон наименьших был применен в теории гетерозиса для объяснения неаллельных взаимодействий генов. Концепция «узкого места» при взаимодействии неаллельных генов при гетерозисе была сформулирована Мангельсдорфом. Эта концепция заключается в том, что *превосходство генотипа, подобно цепи, зависит не от самого крепкого, а от самого слабого его звена*, и в ней придается особое значение не только превосходству гибрида, но и относительной слабости его родителей. Эта слабость приравнивается к слабым звеньям и считается узким местом взаимодействия. Узкое место здесь приписывается аллелям или генотипам, которые не соответствуют поставленным перед ними задачам, и, таким образом, они являются лимитирующими факторами в действии других генов [10, стр. 120—121]. Мысль вполне тектологическая.

Принцип концентрированного действия. Обратной стороной принципа наименьших является принцип концентрированного действия, который можно было бы иллюстрировать многими примерами как из природы, так и из человеческой практики. Зубы, игла, нож, бритва и другие острые предметы являются простейшими примерами осуществления принципа концентрированного действия. Смысл применения таких органов и орудий, как зубы и ножи, заключается в том, что сила действия концентрируется на чрезвычайно малой поверхности, на протяжении которой сумма сил сцепления, а следовательно и сумма сопротивлений, соответственно мала. Удар при этом выгоднее простого давления острием потому, что он сосредоточивает действие на очень малом отрезке времени, а это дает возможность преодолевать большие относительные сопротивления. Таков же смысл применения взрыв-

однотипных, более или менее взаимно заменимых единиц. Но даже в таких системах существуют хотя бы очень слабые связи между их элементами, и тем самым система может оказывать сопротивление внешним воздействиям как нечто целое, пусть даже очень низко организованное. А если так, то даже и в такой системе должны быть более слабые и менее слабые «звенья», части или участки. Пилоту, которому нужно пробиться через облака, или путнику среди барханов в песчаной пустыне это хорошо известно. Но можно привести и чисто генетические примеры применимости принципа наименьших к «корпускулярным» системам.

чатых веществ. Вообще, принцип концентрированного действия имеет огромное значение для всех областей человеческой деятельности — производственной, военной, педагогической, художественной и пр.

Относительная устойчивость компактных и рыхлых систем. Наблюдается определенная зависимость устойчивости системы от пограничной области, от относительного количества соприкосновений со средой. Как уже отмечалось, по этому параметру Богданов различал «слитные» и «точечные» системы. Оба эти термина представляются малоудачными, и можно было бы предложить заменить их соответственно терминами «компактная» и «рыхлая» системы, как мне кажется, лучше выражающими смысл понятий.

В компактных системах теснее связи между их собственными элементами, чем в рыхлых, относительно меньше пограничная область и поэтому больше возможностей для сопротивления разрушительным воздействиям со стороны внешней среды. В отличие от компактных, рыхлые системы как бы более «разветвлены», менее «обтекаемы» и имеют поэтому большую пограничную область. Одна и та же система может переходить из компактного состояния в рыхлое, и наоборот. Приведем примеры.

Представим себе две хижины одинаковых размеров. При прочих равных условиях более компактная, более «обтекаемая» из них будет лучше противостоять ветру, чем более рыхлая, менее обтекаемая, т. е. имеющая различные выступы и пр., повышающие ее «парусность». По этой же причине при сильном ветре или холоде мы инстинктивно съеживаемся, уменьшая тем самым свою пограничную область и свою «парусность». Искусный оратор часто прибегает к «обтекаемым» формулировкам, уязвимость поверхность которых, т. е. пограничная область, сведена к минимуму. Наоборот, неопытный оратор будет оперировать рыхлыми формулировками, имеющими большую поражаемую поверхность и дающими возможность критике легко «зацепиться» за них. Таким образом, в «рыхлых» («парусных») системах связи со средой относительно возрастают, элементы среды в большей степени проникают в «выемки» между ее «выступающими» частями.

Для сохранения системы в неопределенно-изменчивой среде более благоприятна компактная ее структура и менее благоприятна рыхлая. Так, подвижные животные, благодаря тому, что они соприкасаются с разнообразной и изменчивой средой, имеют компактную организацию, в то время как прикрепленные к субстрату животные и растения обычно разветвлены, имеют рыхлую структуру. Интересно, что это относится и к колебательным процессам любого типа. Как известно, колебательные процессы с более длинной волной, т. е. более «обтекаемые», являются в то же время и более устойчивыми, меньше поглощаются средой. Поэтому в спектре наиболее отдаленных звезд фиолетовые лучи относительно ослаблены. В условиях же более или менее постоянной среды количество соприкосновений со средой не имеет уже

такого большого значения, и обычное преимущество компактных систем здесь приобретает второстепенное значение.

Скелетные системы. В неопределенно-изменчивой среде любая часть системы может подвергнуться воздействию не учитываемой заранее силы. Максимум относительной устойчивости системы достигается в этом случае равномерным распределением сопротивлений между всеми угрожаемыми звеньями целого. При этом наиболее выгодным является распределение сопротивлений вдоль структурной границы системы, т. е. в пограничной ее зоне, которая в пространственном отношении может быть как внешней, так и внутренней. Отсюда столь обычная в природе и в человеческой практике схема «скелетных» (в частности, «оболочечных» или «панцирных») структур.

Любая скелетная система построена асимметрично. Она состоит из двух неодинаковых и неравноценных частей: более пластичной, но менее устойчивой (более уязвимой), и менее пластичной и более устойчивой. Скелетный элемент обеспечивает устойчивость системы, ее защиту от внешних воздействий. Ввиду чрезвычайно большой распространенности скелетных систем на всех уровнях организации Богданов, как уже говорилось, заменяет очень привычное, но зато и узкое обозначение «скелетные формы» новым термином «дегрессия». Едва ли в этом есть необходимость. Достаточно договориться не представлять себе скелетные структуры непременно как более прочные в физическом смысле. Понятие это тектологическое и поэтому очень широкое.

Типичными защитными скелетами являются, например, клеточная оболочка, кутикула и механическая ткань растений, скорлупа ореха, известковые скелеты многих корненожек, раковины моллюсков, хитиновый покров насекомых, кожа с роговой эпидермой, яичная скорлупа, скелет позвоночных, стены крепости, броня корабля или танка, переплет книги, поверхностный слой капли воды, сосуд, ложе озера, русло реки, одежда, жилище, слово и всякого рода другие символы, защитная окраска некоторых насекомых, отталкивающий запах некоторых животных и т. д.

Защитный скелет может быть внешним, как у моллюсков и насекомых (эктоскелетный, или «оболочечный» тип), и внутренним, как позвоночный столб (эндоскелетный, или «каркасный» тип). Различия между обоими типами не всегда бывают резкими и иногда не вполне ясно выражены. Так, например, в скелете позвоночных в сущности объединяются оба типа: если большая часть элементов их скелета может быть отнесена к эндоскелетному типу, то грудная клетка и особенно черепная коробка относятся скорее к эктоскелетному типу. Панцирь черепахи вполне эктоскелетный, но в процессе эволюции он возник из внутреннего скелета. Хитиновая же оболочка насекомых, так же как кутикула растений, вполне эктоскелетна.

Значение всякой скелетной структуры основано на ее меньшей гибкости, пластичности по сравнению с остальными частями

системы. Благодаря этому скелет и служит средством закрепления системной структуры, повышения ее устойчивости. Поэтому скелетная защита осуществляется там, где система, будучи гибкой, пластичной и поэтому уязвимой, нуждается в более прочной защите. Это защита или только от пространственно-внешних воздействий (эктоскелетный тип), или от более общих воздействий, связанных с повышением тяжести или сопротивления среды, стремящихся деформировать или разорвать систему и требующих поэтому более прочного скрепления частей (опорная функция). Воздействия и во втором случае внешние, но только не в грубо-пространственном смысле слова.

Внутренний и наружный скелет могут легко замещать друг друга и переходить друг в друга. Более того, строгое разграничение эктоскелетного и эндоскелетного типов, т. е. периферических и центральных защитных структур, возможно только для систем пространственно-непрерывных и устойчивых по геометрической форме, каковы организмы и механизмы; для таких систем, как например, социальные, оно большей частью и не может быть установлено или же принимает характер переменного соотношения (что отмечалось уже Богдановым—см. стр. 216).

Очень важно выяснить, каковы взаимоотношения между пластичной и скелетной частями системы в условиях среды, благоприятных для развития системы. Как указывает Богданов [5, ч. 2, стр. 170], наиболее характерной чертой этих взаимоотношений является возникновение несоответствия между пластичной и скелетной частями. Особенно консервативны, лишены пластичности всякого рода «оболочечные», эктоскелетные структуры. Как правило, они в большей степени стесняют дальнейшее развитие, чем внутренние, каркасные скелетные структуры. Поэтому каракатицы с их внутренней раковиной (эндоскелетный тип) оказались более пластичными и достигли более высокой ступени развития, чем большинство остальных моллюсков с их внешней раковиной. Черепахи с их двойным скелетом (наружным и внутренним) также оказались группой консервативной.

Развитие науки в разных ее областях сплошь и рядом стесняется такими скелетными формами, как устаревшие термины, понятия, идеи, теории. Еще более отрицательное значение имели различные религиозные и политические догмы. История человечества знает много примеров, когда отжившие религиозные и политические формы останавливали развитие целых обществ и вели даже к длительному упадку отдельных стран.

Противоречия между скелетной и пластичной частями системы неизбежны и вытекают из самого существа «депрессии». Но как в природе, так и в человеческом обществе существует принципиальная возможность устранения этих противоречий. Это чрезвычайно распространенный путь смены скелетных форм. В тех случаях, когда скелетная структура неспособна к быстрому преобразованию и развитию, начинает сильно отставать от пластичной части,

вызывая резко выраженное противоречие системного развития, она просто отбрасывается, заменяясь новым скелетом. Очевидно, это возможно в тех случаях, когда скелетный элемент более или менее приближается к «оболочечному» типу. Так, многоводная река может прорыть себе новое более широкое русло, а одежда ребенка в процессе его роста заменяется новой. Наружные скелеты многих ракообразных, насекомых и даже позвоночных (например, змей), отставая в процессе роста от пластичных тканей, начинают стеснять их, и тогда они сбрасываются, заменяясь новыми, более просторными. Но особенно большое значение метод смены скелетных форм имеет в области социальных явлений. Так, сущность всякой реформы и революции заключается в том, что отбрасываются стесняющие развитие общества старые государственные, правовые и прочие скелетные формы и заменяются новыми. То же самое происходит в развитии науки, искусства, религии и пр.

Универсальный механизм отбора и его основные типы

Как возникает устойчивость систем, как она сохраняется и каким образом изменяется? Существует ли механизм, регулирующий устойчивость? На этот вопрос тектология дает положительный ответ: таким механизмом является механизм отбора в его разных формах.

Сформулированный в научной форме впервые в биологии (начиная с Мопертюи), он стал постепенно применяться и в других науках — астрономии, физике, химии, психологии, социологии, языкознании и т. д., хотя благодаря господству специализации выступает часто в разных формах, под разными названиями и с неодинаковой ясностью. Становится все более очевидным, что механизм отбора носит всеобщий характер. Он вполне универсален, т. е. применим ко всем классам явлений и ко всем структурным уровням.

В его наиболее общей формулировке принцип отбора можно было бы назвать *принципом дифференциального сохранения устойчивых форм*. Основная идея отбора заключается в дифференциальном сохранении (и дифференциальном уничтожении) всех возникающих связей, конечно, при условии, что между ними есть хотя бы самые слабые различия, т. е. что отбору есть что дифференцировать, есть что «отбирать». Принцип дифференциального сохранения действует как в непрерывных, так и в дискретных системах, но при прочих равных условиях в дискретных системах дифференциальное уничтожение элементов будет происходить легче. Чем гетерогеннее система, тем интенсивнее будет действовать в ней отбор. В общем наиболее интенсивны процессы отбора в системах гетерогенно-дискретных. Но вообще отбор универсален и действует всюду, где есть объективная возможность дифферен-

циального уничтожения элементов системы *. В механизме отбора осуществляется стохастическая регуляция любого структурного преобразования самых различных систем — от атомных до космических. Универсализация принципа отбора вовсе не означает «биологизацию» всех уровней организации материи. В тектологии механизм отбора освобожден от его биологической специфики, формализован и понимается очень абстрактно. Термин «отбор» используется в сущности лишь по традиции и за неимением лучшего.

Идея всеобщности принципа отбора вновь возникла, и притом совершенно независимо от тектологии и на другой основе, в кибернетической литературе. Так, в «Кибернетике» Н. Винера [12, стр. 54, 55] читаем: «Мы уже говорили о теории приливной эволюции сэра Джорджа Дарвина, сына Чарлза Дарвина. Связь идей сына с идеями отца, как и выбор названия «эволюция», не случайны. В приливной эволюции, как и в происхождении видов, мы встречаемся с механизмом, который преобразует динамическим путем случайные изменения, а именно случайные движения волн и молекул воды при приливе, в однонаправленное развитие. Теория приливной эволюции есть не что иное, как теория Дарвина-старшего в применении к астрономии». И далее, говоря о современной физике и вторжении в нее статистических принципов, Винер продолжает: «Поэтому не будет слишком смелым сказать, что не только ньютоновская астрономия, но и ньютоновская физика стала ареной усредненных результатов статистической ситуации и, следовательно, рассказом об эволюционном процессе» [там же, стр. 55].

Идея всеобщности механизма отбора последовательно проводится в работах У. Росс Эшби. В книге «Конструкция мозга» он следующим образом формулирует принцип отбора: «Все примеры показали бы, что когда над группой состояний повторно совершается однозначная операция (эта операция образует «законы» системы), система стремится к таким состояниям, на которые данная операция не влияет или влияет в сравнительно малой степени. Иными словами, в результате *всякой однозначной операции происходит отбор форм, обладающих особой способностью противостоять ее изменяющему действию*. В простых системах этот факт почти банален, в сложных его никак нельзя назвать банальным. А когда он проявляется в грандиозных масштабах, в системах с миллионами переменных и на протяжении миллионов лет, тогда весьма вероятно, что отобранные состояния будут поистине замечательными и будут обуславливать высокоразвитую координацию

* Внутри же непрерывных систем с высокой взаимозависимостью элементов отбор неизбежно ограничен. Он ограничивается всюду, где имеются жесткие связи между элементами системы (см. [27]). Однако нельзя согласиться с А. А. Малиновским [29, стр. 164], что к жестким системам «приложим принцип наименьших, но не приложим принцип отбора». Ведь принцип отбора есть логическое следствие принципа наименьших и всюду, где действует принцип наименьших, тем самым действует и принцип отбора.

частей, стремящуюся сделать эти состояния устойчивыми к действию данной операции» [58, стр. 332—333]. В другой работе Эшби приходит к выводу, что существует тесная и существенная связь между мыслительной способностью и отбором, и говорит о глубокой аналогии между процессом решения задачи и процессом эволюции: «ибо имеется самое тесное формальное сходство между процессом автоматического приспособления посредством дарвиновского отбора и процессом автоматического отыскивания решения посредством механического отбора» [56, стр. 305], т. е. получение ответа на задачу состоит, по существу, в отборе. «По существу, наше восхищение *продуктивностью* гения направлено неверно. Ничего нет легче, чем создание новых идей: при соответствующем истолковании калейдоскоп, внутренности овцы или шумовая лампа будут создавать их в изобилии. В гении замечательно умение отсеивать возможности» [там же, стр. 285]. По Д. Кэмпбеллу [22, стр. 309], «все процессы, способствующие расширению знаний, неизбежно включают в себя процесс слепых вариаций и селективного отбора» *.

Можно сослаться еще на «Очерки о кибернетике» Л. Теплова, который также принимает универсальность принципа отбора. Говоря о Дарвине, он пишет: «Знаменитый английский естествоиспытатель был занят только одной проблемой: откуда возникли разные виды животных и растений и почему они так хорошо приспособлены к среде обитания. Он не догадывался о возможности более широких обобщений. А принцип отбора из шума является общим свойством информации (его иногда называют «методом проб и ошибок»). Заключается он в том, что хаотические сигнальные сочетания могут быть обращены в информацию при отборе тех из них, которые соответствуют некоторым наперед заданным условиям» [43, стр. 129].

Наконец, в кристаллографии принцип отбора нашел свое выражение в виде «закона геометрического отбора» [53]. «Если на дне запаянной с одного конца стеклянной трубки, заполненной переохлажденной жидкостью, возникает множество произвольно ориентированных кристаллических зародышей, то в процессе их дальнейшего роста выживает, как правило, только один из них. Это явление, впервые описанное Гроссом и Моллером в 1923 г., получило у нас название принципа отбора, или выживания кристаллов», — пишет А. В. Шубников [53, стр. 63].

Этих примеров достаточно, чтобы показать, с какой неудержимостью овладевает концепция отбора умами ученых разных специальностей.

Принцип отбора логически вытекает из принципа наименьших сопротивлений или из выражающего ту же мысль «принципа

* «Исторически применение выражения «пробы и ошибки» впервые было использовано А. Бэном при описании мышления еще в 1855 г., т. е. за два года до опубликования Дарвином теории естественного отбора», — пишет Кэмпбелл [22, стр. 293].

наименьшего действия». Еще Г. Спенсер писал: «С динамической точки зрения естественный отбор подразумевает изменения по линии наименьшего сопротивления. Размножение какого-либо животного или растительного вида в благоприятной для него местности есть рост по направлению, в котором задерживающие силы слабее, чем где-либо. Сохранение пород, лучше других преуспевающих в борьбе с окружающими условиями жизни, есть продолжение органического движения в направлении, в котором наиболее могут быть обойдены препятствия, заграждающие путь» [40, стр. 97]. К принципу наименьших сопротивлений можно свести и любые другие примеры отбора. Очень ясно это, например, для нередко упоминаемого в литературе случая с ячменным или пшеничным колосом, попавшим в рукав платья идущего человека остями вниз. При ходьбе колос получает толчки по всевозможным направлениям, но все перемещения книзу уничтожаются сопротивлением остей, в то время как кверху они происходят свободно и поэтому колос поднимается по рукаву. Движение колоса идет по линии наименьшего сопротивления. То же самое можно сказать о механизме сита, о промывке золотоносного песка струей воды, о течении воды по руслу реки, о распространении света по пути кратчайшего времени и о всех других известных нам случаях отбора.

Основной и элементарной формой отбора является простое сохранение или уничтожение объектов. Сохранение новых изменений, новых комбинаций (положительный отбор) увеличивает число «остаточных форм», как их называет Эшби, и тем самым увеличивает разнообразие материала. Уничтожение же (отрицательный отбор), упрощая этот материал, устраняя из него все непрочное, противоречивое, вносит в него упорядоченность.

Цепной отбор в сложных системах. Одним из важных выводов универсальной теории отбора является сформулированный в «Тектологии» *принцип цепного отбора*. Описанная ранее схема такого отбора применима ко всяким селективным изменениям внутри любой достаточно сложной системы — кристалла, горного сооружения, организма, популяции организмов, стаи, стада, муравейника, человеческого общества, общественных организаций, научных теорий и пр.

Одной из ярких иллюстраций цепного отбора является схема эволюции приспособлений у высших животных, как она разработана в трудах А. Н. Северцова [37]. Все органы и признаки животных подразделяются им на две большие группы: 1) на эктосоматические органы и признаки, находящиеся в непосредственных отношениях с условиями внешней среды (например, кожа с ее придатками, органы кожного чувства и органы высших чувств, зубы, когти, копыта, ногти и рога, плавники рыб, конечности наземных четвероногих, кишечный канал с его железами и т. д.), и 2) на энтосоматические органы и признаки, не стоящие в непосредственных отношениях с внешней средой, но морфо-

логически и функционально связанные с эктосоматическими или другими энтосоматическими органами или признаками (например, сердце, почки, центральная нервная система, железы внутренней секреции и т. д.). Филогенетические, морфологические и экологические исследования приводят Северцова к следующим выводам: «В общем, эволюция любой группы животных протекает по следующей схеме: известные стороны той внешней среды, в которой обитает данная животная форма, изменяются в некотором определенном направлении; те эктосоматические органы, которые имеют непосредственное отношение к изменяющимся сторонам окружающей среды, приспособляются к изменившимся условиям этой среды.... энтосоматические органы, находящиеся в функциональном соотношении с изменившимися эктосоматическими органами, приспособляются со своей стороны к наступившим изменениям в строении и функциях эктосоматических органов, в результате чего образуются новые координации (координации первого, второго и т. д. порядка) между эктосоматическими и энтосоматическими органами, с одной стороны, и между различными функционально между собою связанными энтосоматическими органами, с другой» [37, стр. 186—187]. Легко заметить, что схема Северцова является частным случаем схемы цепного отбора вообще.

Матричный отбор при постоянной матрице. Механизм отбора осуществляется в двух глубоко различных формах. Первая из них — эмергентная (творческая, созидательная). В этом случае благодаря новой, ранее не существовавшей комбинации тех или иных элементов возникают новые связи, новые формы, новые системы. Отбор мутаций или новых гибридных комбинаций является типичной формой эмергентного, творческого отбора в органическом мире. В неорганическом мире механизм эмергентного отбора осуществляется в дифференциальном сохранении новых комбинаций элементарных частиц, новых химических соединений или новых космических систем.

Но наряду с эмергентным отбором мы наблюдаем, притом в самых различных классах явлений, отбор совершенно иного типа. От эмергентного отбора он отличается тем, что не создает ничего нового, он лишь копирует уже существующую модель. Фактором отбора, действующим на объект (сохраняя или разрушая его), является не среда в обычном смысле слова, а лишь та матрица (от латинского *matrix* — матка), по которой отбираются его копии. Эти копии как бы штампуются по матрице, которая исполняет функцию среды, но среды с жестко фиксированной структурой. Этот тип отбора можно назвать *матричным отбором при постоянной матрице, или консервативным матричным отбором*.

Простейшим примером матричного отбора может служить процесс обработки металла давлением при помощи различных штампов. Механизм отбора выражается здесь в дифференциальном сохранении тех форм и контуров обрабатываемого металла, которые изоморфны штампу. Статистический характер этого процесса:

штамповки очевиден, и он вполне подходит поэтому под схему отбора в его наиболее абстрактном понимании. Элементарными формами матричного отбора являются также отливка литер для набора, процесс типографского печатания, печатание позитивных снимков по негативам (матрицей является негатив) и многие другие технические процессы. Но еще лучше подходит к схеме матричного отбора работа машины, известной под названием вибропитателя. «Представьте себе большой ящик, — пишет Л. Теплов [43, стр. 125], — в который беспорядочно засыпаны заготовки, какие-нибудь необточенные болты. Ящик все время трясется, и болты через воронку попадают к отверстию-калибру, устроенному внизу. Воронка постепенно упорядочивает положения болтов, и через калибр они проходят строго ориентированными, а те, которые не проходят в калибр, выбрасываются». Очень хорошим примером матричного отбора является процесс кристаллизации. Процессы обучения и воспитания также основаны на матричном отборе. Так, воспитание сводится к дифференциальному сохранению идей и представлений, соответствующих взглядам и убеждениям воспитателя. Во всех этих случаях в результате матричного отбора модель репродуцируется в виде более или менее изоморфных отображений. В ряде случаев степень изоморфности может быть столь высокой, что воспроизводятся точные копии матрицы. Случаем подобной точной репродукции матрицы является обычный процесс редупликации хромосом, при котором происходит точнейшее воспроизведение ДНК. К пониманию этого процесса как матричного отбора очень близко подошел Ф. Крик [21]. По его мнению, каждая из двух взаимно дополняющих спиральных цепей молекулы ДНК может служить своеобразным штампом, который способен «отштамповать» дополняющую его «цепочку». Он считает, что каждая цепь «подбирает» необходимые части из каких-то единиц. Время от времени такая свободная единица будет прикрепляться своим основанием к основанию одиночной цепи ДНК. Другая свободная единица может присоединиться к соседнему основанию цепи. Если эти две вновь присоединившиеся единицы не образуют подходящей пары с основанием цепи, к которому они присоединились, они не могут соединиться между собой, так как находятся не на должном расстоянии. Поэтому такие единицы рано или поздно оторвутся от цепи и будут заменены другими. Но если две соседние «вновь прибывшие» единицы составят нужные пары с основаниями цепи, то расстояние между ними будет таким, что они смогут соединиться между собой и начнут образовывать новую цепочку. Таким образом, в гипотезе Крика в сущности выражена идея отбора, притом отбора матричного. Аналогичную идею высказывает Л. Теплов [43, стр. 12], который сравнивает редупликацию хромосом и биосинтез белков с работой вибропитателя.

Таким образом, сущность матричного отбора заключается в случайном переборе всевозможных связей и комбинаций, пока не

возникнет соответствие основе отбора — матрице. Любая матрица, будь то кристалл,¹ вибропитатель, хромосома или воспитатель, несут в себе то или иное количество информации, понимаемой как результат выбора, как мера неопределенности или, точнее, как отрицательное слагаемое энтропии системы, т. е. ее негэнтропия [9, стр. 17]. Очевидно, что чем большее количество информации несет система, тем ограниченнее разнообразие. Система содержит структурную негэнтропию, которая представляет информацию, или упорядоченность системы. При этом консервативном отборе информация не увеличивается, она, наоборот, имеет тенденцию к уменьшению.

Матричный отбор при постоянной матрице не создает, таким образом, ничего нового и информация при этом не увеличивается. Когда же в матричный отбор вмешивается шум, появляется ошибка, то количество информации даже уменьшается.

Матричный отбор с переменной или комбинацией матриц. В отличие от матричного отбора при постоянной матрице, матричный отбор со сменой разных матриц или с их комбинацией имеет эмергентный характер и в свою очередь дает материал для отбора самих матриц.

Отбор с переменной матриц характеризуется тем, что отбор начинается по одной матрице, но с какого-то момента продолжается далее по другой матрице, отличающейся от первой. Так, если клетка заражена двумя разными вирусами, то возможно, что репликация ДНК, начавшаяся по матрице одного вируса, будет продолжена и завершится при использовании в качестве матрицы ДНК другого вируса. Новый вирус, получившийся в результате этого «копирования» с переменной матриц, будет представлять собой новую форму с новыми свойствами. В социальной жизни такого рода перемена матриц происходит, например, при смене руководителей или воспитателей.

Аналогичный эффект достигается при комбинировании матриц, при их сочетании в новую, «гибридную» матрицу. Типичным случаем комбинирования матриц является гибридизация у организмов, размножающихся половым путем.

Комбинированная матрица в свою очередь может стать объектом отбора. Другими словами, здесь осуществляется обратное воздействие на матрицу, своего рода обратный отбор, известный в кибернетике под названием «обратной связи». Гибридогенные новые формы организмов подвергаются отбору, в результате чего эволюционируют их генетические матрицы.

Отбор на основе шумов в матрице. Матрица становится объектом отбора и тогда, когда в ее структуре появляются случайные изменения, или «шум». Когда в строение матрицы вмешивается шум, в ней появляется ошибка (например, генетическая мутация), количество информации обычно уменьшается (вредные мутации). Но в тех более редких случаях, когда изменение в матрице оказывается функционально полезным, это дает новую информацию,

которая в результате отбора сохраняется и дает начало новой линии развития матрицы. В первую очередь именно на основе мутаций в структуре генетического материала происходит эволюция органического мира. Эта форма эмергентного отбора имеет огромное значение также в эволюции человеческого общества (развитие техники, науки и пр.).

Эмергентный отбор на основе случайных комбинаций. Простейшей и наиболее распространенной формой эмергентного отбора является отбор новых комбинаций элементов, не имеющих свойства матрицы. При этом отборе случайно возникают новые связи и комбинации, часть которых случайно оказывается несущей большую информацию. Таким путем возникают часто новые идеи и многие новые общественные отношения, а также новые системы в неорганическом мире (от атомов до галактик).

Регуляция в системах подвижного равновесия

Обобщенный принцип Ле Шателье. Устойчивость систем подвижного равновесия выражается в обобщенном принципе Ле Шателье, называемом «законом адаптации». Как уже говорилось, обобщения этого принципа были сделаны Е. С. Федоровым, В. Банкрофтом, а также А. А. Богдановым. Очень близок к принципу Ле Шателье принцип «гомеостаза», введенный Кэнноном [66] и развитый Эшби [58]. П. де Латишем [69] сделана интересная попытка сведения идеи гомеостаза, как и «обратной связи», к более общему «универсальному закону» Банкрофта, т. е. к обобщенному принципу Ле Шателье — Федорова.

В своей обобщенной форме принцип Ле Шателье формулируется следующим образом: всякая система подвижного равновесия стремится измениться таким образом, чтобы свести к минимуму эффект внешнего воздействия. Как мы уже видели в главе о «Тектологии» Богданова, устойчивость систем равновесия объясняется все тем же механизмом отбора. Под влиянием возмущающих воздействий среды в такой динамической системе равновесия возникают всевозможные изменения, из которых менее благоприятные для системы отбором устраняются, а более благоприятные сохраняются. В результате такого внутрисистемного отбора возникает уравнивающая структурная тенденция, изменяющая эффект внешнего воздействия [5, ч. 1, стр. 258]. Следовательно, принцип Ле Шателье логически выводится из принципа отбора.

Бирегуляция и двойная связь. Во всех системах подвижного равновесия происходит двойное внутреннее регулирование — такова другая формулировка принципа Ле Шателье. Для обозначения систем, которым не нужен регулятор извне, потому что они сами себя регулируют, Богданов ввел понятие «бирегулятора». Уже примеры, приводимые Богдановым, позволяют сделать вывод, что механизм саморегулирования основан на механизме взаим-

ного матричного отбора. Механизм двойного взаимного регулирования очень распространен как в природе, так и в человеческой практике. Всюду, где мы наблюдаем устойчивые системы подвижного равновесия, имеется и бирегуляция.

Бирегуляция представляет собой фактически систему регулирования замкнутого цикла, т. е. эквивалента «обратной связи» в кибернетике. По свидетельству М. Лауэ [24, стр. 15], принцип «обратной связи», был введен в технику еще Христианом Гюйгенсом. В созданных им маятниковых часах имеется такого рода связь между управляемой и управляющей частями, которая обеспечивает обратную подачу управляющему органу переменного воздействия от управляемой системы. Такого рода связь Е. Румер в 1906 г. назвал «обратной связью». Термин Румера относился к искровым передатчикам, но в 1913 г. понятие обратной связи было введено также для передатчиков, работающих на электронных лампах. В 1911 г. идея обратной связи под названием «параллельно-перекрестного воздействия» была выдвинута также физиологом Н. А. Беловым [2], который рассматривал это воздействие как проявление общего закона, имеющего значение не только в биологии, но также в физике, химии и пр. (см. [26, 34]).

Н. Винер следующим образом определяет обратную связь: «Когда мы хотим, чтобы некоторое устройство выполняло заданное движение, разница между заданным и фактическим движением используется как новый входной сигнал, заставляющий регулируемую часть устройства двигаться так, чтобы фактическое движение устройства все более приближалось к заданному» [12, стр. 17]. Легко видеть, что это определение обратной связи относится в сущности только к автоматически регулируемым техническим устройствам и биологическим системам. Очень хорошим примером обратной связи в таком более узком смысле этого слова является одна из древнейших систем автоматического регулирования — приспособление на ветряных мельницах, дававшее возможность всегда держать их крылья против ветра. Это приспособление состояло из миниатюрной ветряной мельницы, которая могла поворачивать основную мельницу в нужном направлении. Крылья меньшей мельницы находились под прямым углом к крыльям основной мельницы. В тех случаях, когда крылья последней стояли под слишком малым углом к ветру, начинали вращаться крылья меньшей мельницы, которая и поворачивала крылья основной, ставя их в рабочее положение [41, стр. 43]. Обратная связь, осуществляемая в такой ветряной мельнице, вполне соответствует определению Винера.

Гораздо более широкое понимание обратной связи мы находим у Эшби [57, стр. 82]. Он считает, что если действие между частями динамической системы имеет круговой характер, когда обе части воздействуют друг на друга, то мы говорим, что в ней имеется обратная связь. Другими словами, обратной связью является любой замкнутый контур регулирования. Обратная связь в по-

нимании Эшби полностью совпадает с понятием бирегуляции. Обратная же связь в узко кибернетическом смысле является, очевидно, частным случаем бирегуляции.

Дифференциация и интеграция

Принцип дифференциации. Каково бы ни было сходство двух систем, двух лиц в человеческом обществе, двух особей в популяции или даже двух листьев на одном и том же дереве, между ними всегда окажутся какие-либо, пусть даже незначительные различия. При этом чем сложнее сравниваемые системы, тем, вообще говоря, больше будет этих различий. Наоборот, чем проще, однороднее системы, тем более сходны будут они между собой. Но, вероятно, даже элементарные частицы атома, не говоря о самих атомах, не бывают абсолютно одинаковы. Более того. И сама среда двух сравниваемых систем, их внешние отношения, тоже должны быть неодинаковы. И опять-таки, чем сложнее эти внешние отношения, тем, вообще говоря, более различны они должны быть. Поэтому, если мы даже допустим существование вполне однородной системы, состоящей из вполне одинаковых элементов, то при неизбежных различиях в условиях среды между отдельными частями системы обязательно возникнут различия и будут неуклонно возрастать. Как говорит Г. Спенсер, «различные части однородной агрегации неизбежно подвержены действиям разнородных сил, разнородных по качеству или по напряженности, вследствие чего и изменяются различно» [40, стр. 244]. Этот спенсеровский принцип неизбежно возникающей неоднородности внутри любых систем (принцип дифференциации) имеет первостепенное значение для тектологии и подробно рассматривается А. А. Богдановым.

Если даже система окружена однородной средой, то какова бы ни была степень однородности последней, внутрисистемная дифференциация будет неизбежно возрастать. «Однородная сила, сообщающаяся агрегату, производит несходные изменения в различных его частях, делая однородное многообразным, а многообразное еще более многообразным» [40, стр. 293]. При этом «всякая дифференцированная часть служит не только центром новых дифференцирований, но и источником их, ибо, делаясь все более и более отличной от других частей, она становится центром различных реакций на посторонние силы и, увеличивая, таким образом, разнообразие действующих сил, увеличивает разнообразие порождаемых ими следствий» [там же, стр. 268]. Спенсер приходит к выводу, что это «умножение следствий» всюду идет в геометрической прогрессии. Действительно, к первоначальным различиям неизбежно присоединяются новые различия и дифференциация все возрастает. А так как дальнейшие изменения должны оказаться все более несходными, то нарастание новых различий еще более усилится и процесс дифференциации будет прогрессивно возрастать. Он будет носить лавинообразный характер.

Дифференциация характеризуется необратимостью. В процессе органической эволюции высоко дифференцированные формы дают передко начало менее дифференцированным, но эти последние никогда не повторяют строение предковых типов. Хотя степень дифференциации и может быть такой, как у предковых форм, или даже значительно ниже (как, например, у рыски), тем не менее характер дифференциации всегда оказывается иным.

Принцип взаимно-дополнительных соотношений. При дифференциации всякой системы отбор направляет ее развитие в сторону более устойчивых структурных соотношений между расходящимися подсистемами. Менее устойчивые соотношения между частями системы отменяются отрицательным отбором, а более устойчивые закрепляются положительным отбором. Совершенно очевидно, что наиболее устойчивыми соотношениями расходящихся частей являются такие, при которых эти части взаимно дополняют друг друга. Это — *дополнительные соотношения*, или комплементарные корреляции, повышающие устойчивость системы под внешними воздействиями, ее организованность (см. [5, ч. 2, стр. 18]). Системная дифференциация направляется по линии взаимно-дополнительных связей.

Таким образом, всякая дифференциация, всякое «разделение функций», всякая «специализация» частей организма или сообщества организмов идет по линии образования взаимно-дополнительных соотношений. Не только организмы и их сообщества, но и вся биосфера Земли может рассматриваться как одна система взаимно-дополнительных соотношений. Более того, в качестве взаимно-дополнительных частей одной системы можно даже рассматривать биосферу вместе с окружающей ее неорганической средой [там же, стр. 22], — идея, выраженная в концепции «экосистемы» Тэнсли. Не менее яркими примерами являются вся система производства, взятая в целом, или любая последовательная научная теория и наука в целом, или язык. Этот же принцип лежит в основе дружбы, содружества и всяких иных устойчивых связей между людьми. Как пишет Т. Шибутани, «формирование любой частной сети межличностных взаимоотношений, а также ее устойчивость зависят от того, насколько включенные в нее личности в каком-то отношении взаимно дополняют друг друга» [50, стр. 295].

Во всех этих случаях части целого взаимно-дополнительны и находятся в непрерывном взаимодействии, которое выражается в форме взаимного функционального дополнения. В более общей форме можно сказать, что основой всякой устойчивой системной дифференциации является развитие взаимно-дополнительных связей между ее элементами.

Всякое взаимно-дополнительное соотношение представляет собой асимметричную, точнее, антисимметричную связь. Ведь в противном случае оно не было бы дополнительным, не обладало бы свойством комплементарности.

Противоречия системной дифференциации. Системная дифференциация означает возрастание различий, несоответствий между ее частями. Части целого становятся слишком различны в своей организации и различаются, в частности, также по силе их относительного сопротивления внешним воздействиям, что в конце концов приводит к разрушению системы. С развитием системной дифференциации неизбежно развиваются внутренние дисгармонии целого. Всякая реально развивающаяся система заключает в себе противоположно направленные, или «борющиеся», силы (принцип антагонизма С. Люпаско).

Значение возрастающих внутренних противоречий системы состоит в том, что обменные связи между отдельными звеньями системы имеют тенденцию к ослаблению, а это неизбежно приводит к понижению относительного сопротивления некоторых частей целого. И поскольку судьба целого определяется наименьшим относительным сопротивлением, сопротивляемость системы неизбежно понижается.

Таким образом, с одной стороны, системная дифференциация, через взаимно-дополнительные связи, приводит ко все большей устойчивости систем, а с другой стороны, через накопляющиеся несоответствия и «дисгармонии», она же приводит к их последующему разрушению. Эта универсальная двойственность системной дифференциации, проходящая через все уровни организации, является одним из важнейших тектологических обобщений.

Принцип интеграции. Возрастание системных расхождений неизбежно приводило бы всякую систему к разложению, если бы этому не противодействовала интеграция, т. е. возрастание целостности системы, упрочение связей и соподчинения ее частей.

Всякая интеграция возникает на основе и в результате дифференциации и является, в сущности, особой ее формой. Но функциональное значение интеграции иное, чем обычной дифференциации. Если дифференциация сама по себе есть возрастающее расхождение между частями системы, увеличение асимметричности внутрисистемных связей, то сущность интеграции сводится к тому, что усиливаются или возникают такие связи, которые направлены на ослабление системных противоречий и на сохранение функциональной целостности системы. Конечно, такие связи усиливаются или возникают опять-таки в результате дифференциации, но дифференциации, соответствующим образом направленной отбором.

Таким образом, системная интеграция основывается на механизме отбора, сохраняющем и усиливающим те связи и соотношения, которые увеличивают структурное и функциональное соответствие элементов системы. Этот механизм ослабляет и разрушает неустойчивые, дезорганизующие соотношения и тем самым уничтожает или нейтрализует элементы, нарушающие целостность системы. В результате происходит взаимное приспособление различных частей системы, их интеграция. Разрушая систем-

ные противоречия, интеграция создает условия для новой дифференциации на более высоком уровне.

Чем свободнее комбинируются элементы системы, тем, очевидно, более продуктивна работа отбора. Если же две такие системы вступят в конъюгационную связь и будут взаимно проникать и обмениваться элементами, то материал для отбора будет еще более богатым и разнообразным. Отсюда интегративное значение конъюгационных процессов, которые столь обстоятельно рассматриваются в «Тектологии» А. Богданова. Конъюгация приводит к взаимоприспособлению конъюгирующих объектов, достигаемому в результате взаимного отбора между ними, который совершается в сфере их взаимодействия, т. е. в конъюгационном поле.

Так, например, научная школа, в результате специализации (системная дифференциация) значительно разошедшаяся во взглядах между ее членами (системное противоречие), может частично или даже полностью устранить возникшие противоречия, если она установит достаточно сильный идейный контакт, идейную конъюгацию. Взаимное сближение, т. е. устранение слишком узкой специализации и идейных противоречий, создается на основе взаимного отбора. Отбор, совершаемый в сфере общения, укрепляет и умножает совпадающие элементы воззрений, сглаживает или устраняет элементы взаимно-исключающие. Еще полнее устраняются противоречия в случае слияния, или амальгамации, например, слияния двух научных школ.

В простейших случаях слияния, например, слияния двух капель воды с разными концентрациями растворов поваренной соли, происходит количественное выравнивание. Аналогичные, хотя, конечно, более сложные результаты дает во многих случаях биологическая копуляция. Но слияние может привести не только к количественному выравниванию, но и к возникновению новых особенностей и структур, дающих новый материал для отбора. Именно таково значение биологической конъюгации инфузорий, конъюгации хромосом в мейозе и процесса оплодотворения. Это уже не простое ослабление системных противоречий, а нечто большее — источник новых преобразований. Нередко слияние слишком разошедшихся систем приводит к новым противоречиям, но зато чем слабее расхождения, тем менее энергична перестройка и тем меньше она способна дать новых структурных комбинаций. Очевидно, в каждом отдельном случае должен существовать некоторый оптимум, т. е. наилучшее соотношение. Ослабление противоречий на основе конъюгации или слияния бесконечно распространено в природе и человеческой деятельности.

Ослабление системных противоречий есть только одна сторона процессов конъюгации и слияния. При всяком глубоком взаимодействии и соединении элементов разных частей системы или даже разных систем возможности дальнейшего развития возрастают. Так, соединение двух научных школ не только устраняет или по крайней мере ослабляет имевшиеся ранее противоречия, но

может быть условием для быстрого развития в новом направлении. Еще важнее для развития науки быстрая и свободная циркуляция научных идей и регулярные и эффективные международные связи активно работающих ученых, т. е. широкая «идейная конъюгация» в глобальном масштабе. Поэтому с каждым годом все более возрастает значение «мирового информационного потока» (см. об этом интересную книгу В. В. Налимова и З. М. Мульченко [31]).

Структурные типы интеграции. Существуют разные типы интеграции и, следовательно, разные типы интегрированных систем. Уже в таких системах, как периодическая или скелетная, мы наблюдаем определенную интеграцию. Так, обручи у бочки являются, несомненно, интегрирующим приспособлением, без которого она бы неизбежно распалась. Другим примером является волер, где целостность поголовья животных сохраняется благодаря ограде. Аналогичный результат достигается в системах «каркасного» типа. Но в случае систем «оболочечного» и «каркасного» типа целостность системы сохраняется путем чисто статической, жесткой фиксации. Наряду с такими системами «жесткой» интеграции широко распространены различные динамические формы интеграции, где имеет место подвижный, гибкий характер связей и где целостность системы обеспечивается не внешними фиксирующими приспособлениями, а самой внутренней организацией. Такие самоорганизующиеся системы значительно более пластичны, более способны к перегруппировке элементов, а часто и к конъюгации, чем «оболочечные» и «каркасные».

Простейшим типом динамической интеграции, очень широко распространенным на всех уровнях организации, является *централизация*. Централистические системы характеризуются тем, что степень взаимной зависимости и взаимного влияния элементов системы становится различной и притом неравномерной, т. е. асимметричной. Со стороны одних элементов (например, солнца в солнечной системе) влияние больше, чем со стороны остальных элементов (в данном случае — планет). Для солнечной системы солнце является структурным центром (по Богданову, «агрессивным центром»), которым определяется связь и единство всей системы и от которого зависят *периферические элементы* — планеты. То же самое можно сказать о вожаке в стаде обезьян или о любом обобщающем понятии среди более частных. Аналогичные соотношения мы наблюдаем в атоме, в клетке, в организме с центральной нервной системой, в армии, администрации любого типа, в производственной иерархии и во всех других типах централистической организации. «*Централизованная система*, — пишут Холл и Фейджин [67], — это такая система, в которой один элемент или одна подсистема играет главную, или доминирующую, роль в функционировании всей системы. Эту часть можно назвать ведущей частью системы, или ее *центром*. Малые изменения в этой ведущей части отражаются на всей системе, вызывая значительные изменения в

ней. Такой процесс подобен действию триггера, который усиливает малые изменения в функционировании всей системы. Примером из политической жизни может служить тоталитарный режим, когда единоличные решения главы государства определяют поведение всей системы».

В централистическом типе все связи необратимы и сходятся к одному элементу — структурному центру. Функция этого центра, таким образом, существенно отличается от функции остальных элементов. Если мы имеем два или больше структурных центров, то системы в этих случаях будут, соответственно, бицентрическими и полицентрическими. Но обычным и наиболее распространенным типом является моноцентрический. Однако во всех случаях центральные структуры представляют собой главный центр пересечения всех основных внутрисистемных связей. Поэтому вполне понятно, что центральные структуры достигают часто очень высокой степени организации. Так, структурный центр человеческого организма — его мозг, потенциально является самым могучим из известных нам механизмов природы.

Следует подчеркнуть, что понятия центрального и периферического элемента относительны, как относительны все тектологические понятия. Если в одних отношениях центральной структурой является одна часть системы, то в других отношениях эту роль может играть другая часть. Так, даже в самых деспотических системах монарх или диктатор отнюдь не являлись центральными структурами для всех явлений общественной жизни. Наряду с центральной структурой государственной власти могут быть центры культурной жизни, например, науки, поэзии и пр. Великий поэт, как управляемый, относится в таких случаях к периферическим элементам, но как первый поэт страны он представляет собой центральную структуру, а деспот, наоборот, в этой последней структуре представляет один из периферических элементов. Все зависит от точки зрения и от задач исследования.

Наиболее сложным и совершенным типом централистической организации является *иерархический централизм*, представляющий собой иерархическую лестницу централистических форм. Примерами могут служить сложный многоклеточный организм, государственный аппарат, армия. Такая централистическая организация не может быть бесконечно большой. Дело в том, что по мере удлинения иерархической цепи ее низшие центры все меньше и меньше определяются центральной структурой всей системы (см. [5, ч. 2, стр. 144]). Для бесконечного ряда звеньев потребовалось бы, следовательно, бесконечное число «усилителей связи, что явно невозможно. Таким образом, цепное ослабление связи кладет предел концентрирующей силе всякой централистической интеграции и приводит к ослаблению триггерного эффекта центра. Кроме того, в том же направлении действует накопление системных противоречий, которые по мере удлинения цепи должны неизбежно увеличиваться. Поэтому ни в Египте эпохи фараонов, ни в

Германии времен Гитлера централизация фактически не могла быть полной и абсолютной.

Возникновение системных противоречий в централистических типах систем обязано главным образом возрастанию различий между центральными и периферическими элементами. Особенно характерны такие противоречия для системы иерархического централизма, что в наиболее яркой форме проявляется в недемократических типах обществ, особенно в деспотиях, а также в любых бюрократических социальных организациях. В таких случаях чрезмерный централизм («перерегулирование системы») может привести к ослаблению интеграции и возрастанию системных противоречий. Активность, эффективность подсистем понижается, и интеграция переходит в свою противоположность*. Системные противоречия в этих случаях могут быть разрешены лишь путем «демократизации» системы, т. е. автономизации подсистем и усиления конъюгационных взаимодействий между центральными и периферическими элементами и, тем самым, усиления механизма бирегуляции. В результате уменьшаются различия между центральными и периферическими элементами, укрепляются обратные связи и целостность, интегрированность общества возрастает. Таким образом, интеграция системы достигается лишь при оптимальной централизации, не блокирующей каналы обратной связи и не ограничивающей эффективное функционирование автономных периферических элементов и свободное циркулирование информации внутри и вне системы. «Вероятно, один из самых важных и интересных вопросов кибернетики можно сформулировать так: каким должно быть соотношение между самоорганизацией и централизованным управлением в большой системе для того, чтобы она была жизнеспособна. С этих позиций было бы интересно проанализировать существующие сейчас большие системы — технические, биологические, социальные», — пишут В. В. Налимов и З. М. Мульченко [31, стр. 185]. Вопрос этот, однако, не только кибернетический, но и более широкий, тектологический.

Структурные преобразования систем

Теория структурных преобразований систем находится лишь в зачаточном состоянии. В «Тектологии» А. А. Богданова этому вопросу посвящена глава «Кризисы форм» в 3-й части книги, но здесь мы находим лишь попытку анализа преобразований динами-

* «Проявление активности невозможно в условиях жесткой организации сложной системы, когда состояние любой подсистемы необходимым образом связывается с состоянием всех других подсистем. Функционирование такой жесткой системы возможно лишь по определенной изначальной программе, когда функции всех подсистем строго «расписаны» и взаимосвязаны. Любое отклонение от принятой программы ведет к разрушению системы. Автономная организация позволяет, наоборот, за счет активного выбора наилучшей стратегии максимально использовать ресурсы каждой подсистемы, быстрее решать поставленные задачи» [19, стр. 90].

ческих систем (систем подвижного равновесия), причем попытку несколько одностороннюю. Почти не затронута эта фундаментальная проблема в «общей теории систем» Берталанфи, но ей посвящено несколько блестящих страниц в работах Эшби «Введение в кибернетику» и «Конструкция мозга». У Эшби, как и у Богданова, рассматриваются лишь преобразования динамических систем. В настоящее время нельзя дать сколько-нибудь удовлетворительную общую тектологическую теорию системных преобразований, и ниже мы сделаем попытку наметить лишь некоторые подходы к ее построению.

Понятие структурного преобразования. Всякое структурное преобразование системы сводится к изменению ее внутрисистемных связей. Структурное преобразование системы предполагает такое изменение системы, когда изменяются наиболее существенные ее связи. При этом нужно иметь в виду, что понятие «преобразование» столь же относительно, как и другие понятия тектологии. Его применение зависит от того, на каком структурном уровне и для решения каких задач ведется исследование системных связей. Так, например, в принципе всякая стадия в развитии организма может рассматриваться как структурное преобразование, а внутри каждой такой стадии можно установить множество стадий меньшего порядка. С этой точки зрения системным преобразованием можно считать как любую социальную реформу, так и коренную революцию, но это будут преобразования различного масштаба и глубины. Все зависит от задачи исследования.

Вероятные пути преобразования системы как бы уже заданы в ее структуре и в ее отношениях к среде. Правда, когда речь идет о достаточно сложных системах, особенно биологических и социальных, мы никогда не имеем ни совершенно сходных систем и ни совершенно сходных условий, что всегда нужно учитывать при такого рода прогнозах. Очень важно также другое обстоятельство. Дело в том, что, как справедливо указывает Богданов [5, ч. 3, стр. 24], «для одной и той же совокупности элементов нередко возможна не одна, а несколько разных форм предельного равновесия». Это особенно относится к биологическим и социальным системам, где существование нескольких форм «предельного равновесия», или заключительных стадий, особенно характерно. Еще более ярко выражено это множество возможных результатов преобразований в художественном творчестве. Но даже и у сложных систем число возможных «предельных равновесий» всегда ограничено.

Любая заключительная стадия любого структурного преобразования является лишь временной. В дальнейшей она сама неизбежно становится исходным пунктом для новых преобразований. Это, в первую очередь, относится к сложным системам, особенно биологическим, социальным, концептуальным, художественным. Так, в экологии растений принято считать, что в каждом данном типе местообитания со временем возникает некое естественное

заключительное сообщество (климакс), которое соответствует стадии предельного равновесия. Но, как пишет Шмитхюзен [51, стр. 185], «все высказывания о заключительном сообществе являются весьма относительными. Строго говоря, ни развитие растительного сообщества, ни развитие почвы никогда не приходят к завершению, ибо с течением времени изменяется не только климат, изменяется также и комплекс видов, составляющих эти сообщества. Некоторые систематические единицы широко распространяются, другие вымирают, и в результате возникают новые формы». Никогда не приходят к завершению также все другие типы систем, достигшие «предельного равновесия», которое всегда относительно и временно.

Начальная и заключительные стадии системного преобразования связаны большим или меньшим числом более или менее выраженных переходных или промежуточных стадий. Такие переходные стадии очень хорошо выражены в естественных сменах растительных сообществ, известных под названием сукцессии. Каждая такая сукцессия развивается в определенном направлении, зависящем от условий местообитания и экологических особенностей населяющих видов. Через ряд промежуточных стадий сукцессия завершается заключительным сообществом, или климаксом.

Научное предвидение менее устойчивых и относительно быстротечных промежуточных состояний системы обычно гораздо труднее, чем прогноз конечных результатов преобразования. Ботанику гораздо легче предвидеть то заключительное растительное сообщество, которое сформируется в будущем в данном местообитании, чем установить те промежуточные стадии, через которые оно пройдет. Но прогноз конечной стадии обычно бывает и гораздо важнее.

Элементарные процессы системных преобразований. В системных преобразованиях различных типов могут участвовать следующие элементарные процессы и их комбинации: 1) уменьшение или увеличение числа элементов системы, 2) перестановка элементов системы, 3) дифференциальное изменение элементов системы, 4) полимеризация и олигомеризация, 5) конъюгация и гибридизация систем, 6) триггерный эффект.

Изменение количества элементов. Уже количественные изменения системы, происходящие в результате элементарных процессов конъюкции и дизъюнкции, могут привести к большим или меньшим ее преобразованиям. Преобразование систем путем изменения числа элементов может происходить уже в гомогенных системах. Так, путем изменения числа элементов — молекул воды, озеро может превратиться в болото, и наоборот. Изменение числа особей в популяции, даже генетически вполне однородной, неизбежно влияет на изменение ее генетической структуры. Однако гораздо большее значение имеет изменение числа элементов в гетерогенных системах. В таких системах изменение числа элементов, особенно если это изменение носит дифференциальный характер,

может привести к резкому изменению наиболее существенных внутрисистемных соотношений и, тем самым, к изменению структуры системы. Так, при уменьшении числа особей в генетически гетерогенной популяции может резко измениться ее генетическая структура. Структурные преобразования большего или меньшего значения неизбежны также при дифференциальном изменении количественного состава любой достаточно гетерогенной социальной организации.

Перестановка элементов. Перестановку элементов, как впрочем и все другие тектологические понятия, нельзя понимать в чисто пространственном или даже пространственно-временном смысле, так как она возможна также в системах концептуальных, художественных и пр. Чем менее гомогенна система, тем большее значение приобретает взаимное расположение ее элементов (эффект положения). Наглядную иллюстрацию эффекта положения представляет явление изомерии в химии (главным образом в химии органических соединений). Очень убедительной иллюстрацией значения перестановки элементов в системе являются генетические данные об «эффекте положения» гена в хромосоме, показывающие, что когда в результате структурной перестановки ген оказывается в другом месте хромосомного набора, его действие может изменяться.

Замечательно, что бесконечное множество разных нуклеиновых кислот обеспечивается различной последовательностью в расположении всего лишь четырех оснований (аденина, цитозина, гуанина и тимина), а все многообразие первичной структуры белков сводится к строго определенной последовательности, всего около 20 (точнее, 22) аминокислот вдоль пептидной цепи. Таким образом, все разнообразие органического мира определяется в конечном счете эффектом положения оснований в цепочке ДНК и аминокислот в пептидной цепи. В социальных организациях эффект положения также чрезвычайно велик, особенно когда речь идет о перестановке элементов, связанных с триггерной функцией (в структурах централистического типа).

Дифференциация элементов. Дифференциальное изменение элементов системы, когда они изменяются в разной степени или в разных направлениях, также неизбежно приводит к преобразованию системы. В результате таких изменений гомогенная система превращается в гетерогенную (например, генетически однородная популяция превращается в генетически разнородную), а в гетерогенных системах изменяется характер внутрисистемных связей и возрастают внутрисистемные противоречия. При этом, чем гетерогеннее система, тем легче наступает дальнейшая дифференциация ее элементов. Еще Спенсер [40] говорил, что чем разнороднее (т. е. более дифференцирован) «агрегат», тем разнообразнее изменения, производимые в нем каким-нибудь простым фактором. Поэтому процесс дифференциации играет тем более важную роль, чем выше структурный уровень системы.

Полимеризация систем. Полимеризация представляет собой процесс соединения двух или больше систем одинаковой структуры и происхождения в новую, более сложную систему (полимер), в которой исходные системы (мономеры) становятся субсистемами. Этот процесс полимеризации распространен на всех структурных уровнях — от атомного до социального. Типичные примеры — образование кристаллов и возникновение многоклеточных организмов из одноклеточных. В обоих этих случаях, как и во многих других, полимеризация приводит к повышению структурного уровня. Примером полимеризации является также полиплоидия. Наряду с полимеризацией широко распространен также обратный процесс — олигомеризации, уменьшения числа одинаковых элементов системы.

Конъюгация и гибридизация систем. Когда в случае контакта двух или более систем происходит глубокое взаимодействие между ними, сопровождаемое обменом элементами, это неизбежно приводит к большему или меньшему их преобразованию. Такова конъюгация хромосом при кроссинговере, взаимное влияние двух научных концепций, художественных направлений или социальных систем. Когда же конъюгация систем приводит к образованию новой системы, объединяющей в себе элементы исходных систем, мы имеем гибридизацию в наиболее широком понимании этого слова. Обобщенное понятие гибридизации применимо не только к биологическим объектам, но и к машинам, научным теориям и к различным социальным институтам.

Далеко не всякий контакт двух систем приводит к их конъюгации, а тем более к гибридизации. В тех случаях, когда поле конъюгации узкое, и между системами не образуется связующих звеньев, контакт может привести к полной или частичной дезорганизации одной или обеих систем. Преобразование систем в случае коллизии выражается в их разрушении.

Триггерный эффект. Всякая энергетически замкнутая система, находящаяся в неравновесном состоянии и готовая выйти из этого состояния при наличии внешнего воздействия, называется спусковой, или триггерной. В технике спусковая (триггерная) схема представляет собой электрическое устройство с двумя устойчивыми состояниями равновесия, в котором переход из одного состояния в другое происходит чрезвычайно быстро под действием внутренних лавинообразно разворачивающихся процессов. Это начинается при воздействии на спусковую систему внешнего электрического сигнала, величина которого больше некоторого минимального уровня (порога срабатывания). Спусковыми механизмами являются также курок ружья, капкан, бочка с порохом или общество накануне революции. Системы такого типа широко распространены всюду. Для типичной формы спускового механизма характерна независимость силы и размеров кризиса от вызывающего агента, лишь бы он превышал «порог срабатывания». Минимум достаточной величины взрывающего агента за-

висит от степени напряженности отношений внутри системы. Чем ближе эта степень напряженности к возможному порогу, тем ниже достаточная величина взрывающего агента. Поэтому в тех случаях, когда степень напряженности невелика, характер и сила сигнала могут иметь заметное и даже большое влияние на ход взрыва. Величайшие достижения техники, начиная от зажигания огня и до освобождения внутриатомной энергии, достигались применением триггерного эффекта.

В структурных преобразованиях, совершающихся в природе и в общественной жизни, наблюдаются многообразные комбинации разных их типов, а часто они сменяют друг друга. Если явление очень сложно, то не всегда легко провести границы между сменяющими друг друга типами преобразования. В социальных преобразованиях многообразно комбинируются все типы.

Параллельное и конвергентное преобразование системы. Как мы видели, сходный материал и сходные условия среды приводят к сходным же конечным результатам в преобразовании систем. Отсюда широкое распространение параллельных форм и даже параллельных их рядов. Одни и те же кристаллические структуры возникают параллельно, если имеется достаточное сходство в материале и в условиях кристаллизации. Совершенно одинаковые формы социального строя, этические и правовые нормы и стили в искусстве возникли совершенно независимо у народов Старого и Нового Света (вспомним, например, цивилизацию майя и ее сходство с цивилизациями древнего Востока, особенно Египта). Весьма многочисленны случаи параллелизма в биологии, где они определяются систематической близостью организмов. Чем ближе систематические группы, там чаще возникают у них параллельные структуры (закон гомологических рядов Н. И. Вавилова). Параллелизм — это не схождение (конвергенция), а параллельное (не дивергирующее) развитие сходных форм на основе структурного родства исходного материала.

Основой конвергенции является формирующее действие тождественной или сходной среды, приводящее к схождению форм, первоначально более или менее далеких друг от друга. В отличие от параллелизма, в процессе конвергенции сходство прогрессивно возрастает. Конвергенция определяется не столько общностью исходного материала (которая может быть и очень небольшой), сколько действием среды, которая выступает как бы в роли «отливочной формы», или матрицы. Технический процесс отливки является простейшей иллюстрацией конвергенции, хорошо объясняющей ее механизм, который, как это вполне ясно, сводится к определенным образом канализованному отбору. Структурно роль «отливочной формы» может играть всякая определенная среда. Так, сходная водная среда приводит к таким конвергентным формам, как рыба и кит (или дельфин), а сходная оптическая среда (световые волны в определенных границах длины) привела к во многом сходной конструкции глаза у высших моллюсков и выс-

ших позвоночных. Конвергенция наблюдается также в неорганическом мире. Хорошим примером является независимое образование сходных астрономических форм — конвергентных форм равновесия в космической среде.

Совершенно очевидно, что конвергенция систем возможна лишь там, где есть некоторая заранее наличная организационная их однородность: чем различнее организация систем, тем менее вероятно одинаковое отношение их к среде. Правда, эта структурная однородность в иных случаях может быть очень отдаленной.

Иерархия структурных уровней

Окружающий нас мир представляет собой многоступенчатую иерархию разных уровней организации, или структурных уровней *. Каждый следующий уровень характеризуется новыми, эмергентными свойствами, которые, как мы теперь знаем, нельзя свести непосредственно к свойствам компонентов. Утопическая концепция «редукционизма», столь характерная для механицизма XVIII и XIX вв., уступила место более реалистическому учению о качественно различных, «эмергентных» уровнях.

Протоны, электроны и другие элементарные частицы являются наиболее низкими из известных нам структурных уровней. В процессе отбора из элементарных частиц возникли атомы разной степени сложности. Атомы, в свою очередь, объединяются в молекулы разной степени сложности. Если молекулы располагаются в определенном геометрическом порядке, то возникает кристаллическая ячейка. Дальше иерархическая лестница как бы раздваивается. В мире неорганическом она разворачивается в грандиозную космическую иерархию соподчиненных астрономических систем. В мире органических соединений в процессе отбора возникли первые формы жизни. На этом уровне возникают совершенно новые эмергентные структурные принципы, отличающие жизнь от всего неживого.

Хотя имеются промежуточные структурные уровни между неживыми макромолекулами и живой системой, в первую очередь вирусы, но элементарной единицей жизни с полным основанием считается клетка. Далее, через ряд промежуточных структурных уровней (ткани, органы и системы органов), мы переходим к многоклеточному организму — следующему среди основных структурных уровней органического мира. Затем идут популяции и все другие надорганизменные уровни.

Переход от одного уровня к уровню следующего, более «высокого» порядка отнюдь не означает повышения упорядоченности или устойчивости. Нет ничего устойчивее атомов низших порядковых номеров, а упорядоченность кристалла максимальная.

* В согласии с В. И. Кремьянским [20, стр. 195], термин «структурные уровни» я предпочитаю термину «уровни организации».

Повышение или понижение упорядоченности и устойчивости может происходить на одном и том же структурном уровне (атомы разных порядковых номеров). Переход к следующему уровню заключается, очевидно, в другом, а именно в усложнении структуры и, тем самым, в усложнении связей со средой. С переходом к более высокому структурному уровню система оказывается в иной, более сложной среде.

Переход от более низкого структурного уровня к более высокому и обратно обычно обозначается терминами «прогресс» и «регресс». К сожалению, эти термины характеризуются очень большой семантической нагрузкой и страдают неопределенностью. В тектологии они могут пониматься только очень абстрактно, т. е. в наиболее общем смысле.

По Спенсеру, прогресс заключается в ряде дифференциаций, сменяющихся следующей за ними интеграцией и слиянием отдельных частей в общее целое: «Развитие, — пишет он, — есть интеграция материи, сопровождаемая рассеянием движения, во время которой материя переходит от состояния несвязной и неопределенной однородности к состоянию определенной и связной разнородности, а неизрасходованное движение претерпевает аналогичное же превращение» [40, стр. 238]. С этой точки зрения мерилom прогресса является не только дифференцированность системы, ее структурная неоднородность, но и ее интегрированность, или целостность, т. е. степень гармонизации частей. Если возрастание структурной неоднородности системы сопровождается усилением дисгармонии ее частей, то это уже не будет прогрессом.

Несколько иной, но близкий подход к понятию прогресса мы находим у Богданова [5, ч. 2, стр. 156]. «Тектологический прогресс, — пишет он, — основанный на пластичности, ведет к усложнению организационных форм, ибо в них накапливаются приспособления к новым и новым, изменяющимся условиям. Усложнение, в свою очередь, благоприятно для развития пластичности, так как увеличивает богатство возможных комбинаций. Поэтому, в общем, чем выше организация, тем она и сложнее, и пластичнее». Конечно, усложнение само по себе нельзя считать единственным мерилom прогресса. Хорошо известно, что многие прогрессивные изменения организмов и социальных структур сопровождаются их упрощением, а не усложнением. Но если взять органическую эволюцию в целом, то, несомненно, высшие группы растений и животных организованы сложнее, чем низшие.

Объективным критерием прогресса является соотношение системы и среды. Прогресс выражается в увеличении суммы связей со средой. Чем прогрессивнее система, тем большего разнообразия достигли ее связи с элементами внешней среды. Количественной же мерой прогресса является информация. Прогресс состоит в увеличении количества информации, заключенной в структуре системы. Количество информации, приобретаемой в результате прогрессивного преобразования, равно тому количеству

неопределенности, которое при этом уничтожается. В молекуле больше информации, чем в атоме, в клетке — больше, чем в молекуле, в организме — больше, чем в клетке, и т. д.

В отличие от прогресса, регресс представляет собой уменьшение разнообразия, т. е. характеризуется уменьшением количества информации. У редуцированного растения или животного, происшедшего от высоко развитого предка (типичный пример — паразиты), произошло уменьшение разнообразия элементов и, следовательно, уменьшение количества информации.

Принцип гетеробатмии

В случае сложных систем, состоящих из относительно автономных субсистем, оценка общего структурного уровня системы затрудняется неравномерностью происходящих в ней преобразований. Очень характерна такая неравномерность в преобразовании отдельных субсистем в биологических системах, где она приводит к внутрисистемной структурной «разноступенчатости», названной мною гетеробатмией (от греч. bathmos — ступень, уровень; см. [71a]). В результате неравномерной эволюции отдельных его частей (субсистем) организм может состоять из органов или даже тканей, находящихся на разных ступенях эволюции. Гетеробатмия между разными частями организма бывает выражена тем сильнее, чем онтогенетически и эволюционно менее зависимы они друг от друга, более автономны, как, например, в случае цветка и проводящей системы стебля. Наоборот, чем более интегрирован организм, чем более взаимозависимы его отдельные части, тем менее выражена гетеробатмия. Поэтому у высших животных она значительно слабее, чем у высших растений. В то же время гетеробатмия наиболее сильно выражена в системах, подвергающихся глубокой перестройке. Так, она особенно заметна у наиболее примитивных представителей новых систематических групп. В процессе же дальнейшей эволюции гетеробатмия постепенно выравнивается.

Гетеробатмия не менее характерна для социальных систем, где она также зависит от двух условий — степени автономности субсистем и глубины и скорости трансформации системы. Поэтому особенно яркие проявления гетеробатмии можно наблюдать в быстро развивающихся странах, где причудливо переплетаются древние социальные институты с современными. Можно ли представить более яркий пример гетеробатмии, чем сочетание лука и стрелы с транзисторным приемником у юноши в горах Новой Гвинеи, — картина, которую я наблюдал летом 1971 г. По-видимому, принцип гетеробатмии универсален для всех сложных систем, испытывающих быстрые и радикальные преобразования.

Заключение

В последние годы получили широкое развитие так называемые «системные исследования». Было бы неправильно ставить знак равенства между тектологией и «системными исследованиями». Системные исследования выходят далеко за рамки тектологии и включают всевозможные методы изучения «сложных объектов, обладающих системными свойствами», особенно больших систем. В этих исследованиях пользуются самыми разными теоретико-системными концепциями, которые «фактически отказались от претензий на всеобщность и обычно достаточно четко ориентируются на исследование строго определенных классов системных объектов — абстрактно-математических, биологических, технических, используя при этом языки теории множеств, алгебры, логики, теории вероятностей и т. д.» [4, стр. 20]. Эти специализированные «теории систем» уже сильно отходят от более общих тектологических задач, сформулированных Богдановым и Бертуланфи, и преследуют более узкие и конкретные, обычно прикладные цели, чаще всего сводясь к попыткам построения математических моделей поведения различных типов систем.

В отличие от этих специализированных системных исследований, тектология представляет собой общее учение об универсальных структурных закономерностях основных типов систем, характерных для разных природных и социальных явлений и разных структурных уровней. Ее интересуют «универсальные типы и закономерности строения» [5, ч. 3, стр. 202], наиболее общие структурные типы систем разных классов и наиболее общие законы их преобразования («изоморфизмы законов»). По своему характеру тектология столь же универсальна, как и математика. Это различие в задачах тектологии и системных исследований влечет за собой различие в используемых ими методах.

В то время как системные исследования пользуются преимущественно формальными, математическими методами описания строго определенных классов систем, тектология строит свои абстрактные модели, обобщая материал множества конкретных наук, и разрабатывает свою концептуальную систему на основании содержательного анализа понятий, одновременно строго формально их уточняя. Вся стратегия исследования здесь иная. Тем самым тектологические построения носят эмпирически-содержательный, а не формально-математический характер. Отрыв от конкретных наук и преждевременная математизация лишили бы тектологию ее содержательного характера, превратив ее в ветвь математики. Совершенно правы И. В. Блауберг, В. Н. Садовский и Э. Г. Юдин [4, стр. 35], когда они пишут, что «одна из причин ограничений ряда современных версий общей теории систем состоит в том, что эти концепции акцентируют внимание на формальных, математических проблемах описания систем, в то время как содержательный базис такой теории еще не получил удовлетворительной разра-

ботки». Авторы этих концепций рассматривают теорию систем как логико-математическую дисциплину и выступают за чисто математическое рассмотрение свойств систем, что, как они думают, обеспечивает теории «всеобщность и абстрактность» (см. особенно [16, стр. 878—879]). Глубокое заблуждение! Математика отнюдь не владеет монополией на абстракцию, и тектологические понятия системы, элементов и связей не менее абстрактны, чем любые математические понятия. Однако раздаются и более трезвые голоса, в частности А. Рапопорта [36, стр. 104], который предостерегает от «слишком большой веры в математическую общую теорию систем». По его мнению, «разумнее рассматривать математическую абстрактную теорию систем как существенный вклад в концептуальный багаж современного ученого, а не как метод, который должен затмить все другие методы».

Возрастающее применение системного подхода в технике, в организации производства и управления неизбежно стимулирует развитие математической теории определенных классов систем на базе теории множеств и других областей математики. Однако, как указывает Месарович, математическую теорию систем можно было бы упрекнуть в том, что «в ней накладываются строгие ограничения на описание поведения реально существующих систем, особенно если дело касается сложных биологических или социальных явлений» [30а, стр. 169]. Но Месарович не дает убедительного ответа на это им же сформулированное возражение. Между тем становится совершенно очевидным, что злоупотребление математическими понятиями и методами без глубокого знания содержательной стороны вопроса обычно создает лишь видимость знания. Внешне все это очень эффектно и производит впечатление высокой научности, но далеко не всегда приближает нас к истине.

Тектологические обобщения нельзя вывести дедуктивно из аксиом и постулатов. Соответствующие концептуальные схемы могут быть созданы лишь в результате обобщения и систематизации всего многообразия реальных структурных отношений в природе и в человеческом обществе. Тектология — это «всеобщая естественная наука», и как естественная наука она должна опираться прежде всего на эмпирический материал. Будущее тектологии будет зависеть от правильного определения ее предмета и задач и правильной стратегии ее развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамова Н. Т. К определению понятия «уровень организации». — «Структурные уровни биосистем». М., 1967.
2. Белов Н. А. Учение о внутренней секреции органов и тканей и его значение в современной биологии. — «Новое в медицине». Вып. 22, 1911, стр. 1228—1236.
3. Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Системные исследования и общая теория систем. — «Системные исследования. Ежегодник 1969». М., 1969.

4. *Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г.* Системный подход: предпосылки, проблемы, трудности. М., 1969.
5. *Богданов А. А.* Всеобщая организационная наука (тектология). изд. 3, ч. 1—3. М.—Л., 1925—1929. (Первые две части в 1926 и 1928 гг. опубликованы в немецком переводе).
6. *Богданов А. А.* Борьба за жизнеспособность. М., 1927.
7. *Боголепов В. П.* О состоянии и задачах теории организации.— «Организация и управление (вопросы теории и практики)». М., 1968.
8. *Бойлдинг К.* Общая теория систем — скелет науки.— «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
9. *Бриллээн Л.* Наука и теория информации. М., 1960.
10. *Брюейкер Дж.* Сельскохозяйственная генетика. М., 1966.
11. *Бенинг Мейнец Ф. А.* Пластическое выявление земной коры: происхождение геосинклиналей.— «Земная кора». М., 1957.
12. *Винер Н.* Кибернетика. М., 1958.
13. *Глинский Б. А., Грязнов Б. С., Дынин Б. С. и Никитин Е. П.* Моделирование как метод научного исследования (гносеологический анализ). М., 1965.
14. *Голдман С.* Теория информации. М., 1957.
15. *Дарвин Дж.* Приливы и родственные им явления в солнечной системе. М., 1923.
16. *Заде Л.* От теории цепей к теории систем.— «Труды Института радиоинженеров», 1962, т. 50, ч. 1.
17. *Кастлер Г.* Азбука теории информации.— «Теория информации в биологии». М., 1960.
18. *Китайгородский А. И.* Порядок и беспорядок в мире атомов. М., 1956.
19. *Кравец А. С.* Вероятность и системы. Воронеж, 1970.
20. *Крестьянский В. И.* Структурные уровни живой материи. М., 1969.
21. *Крик Ф.* Строение вещества наследственности.— «Физика и химия жизни». М., 1959.
22. *Кэмпбелл Д. Т.* Слепые вариации и селективный отбор как главная стратегия процессов познания.— «Самоорганизующиеся системы». М., 1964.
23. *Ланцош К.* Вариационные принципы механики. М., 1965.
24. *Лауэ М.* История физики. М., 1956.
25. *Садовский В., Юдин Э.* Система.— «Философская энциклопедия», т. 5, М., 1970.
26. *Малиновский А. А.* Типы управляющих биологических систем и их приспособительное значение.— «Проблемы кибернетики», 1960, № 4.
27. *Малиновский А. А.* Организация.— «Философская энциклопедия». т. 4. М., 1967.
28. *Малиновский А. А.* Пути теоретической биологии. М., 1970.
29. *Малиновский А. А.* Общие вопросы строения систем и их значение для биологии.— «Проблемы методологии системного исследования». М., 1970.
30. *Месарович М.* Основания общей теории систем.— «Общая теория систем». М., 1966.
- 30а. *Месарович М.* Общая теория систем и ее математические основы.— «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
31. *Налимов В. В., Мульченко З. М.* Наукометрия. М., 1969.
32. *Овчинников Н. Ф.* Категория структуры в науках о природе.— «Структура и формы материи». М., 1967.
33. *Овчинников Н. Ф.* Структура и симметрия.— «Системные исследования. Ежегодник 1969». М., 1969.
34. *Петрушенко Л. А.* Концепция параллельно-перекрестного взаимодействия («закон замкнутых пространств») и философские взгляды русского физиолога Н. А. Белова.— «Организация и управление». М., 1968.
35. *Пойя Д.* Математика и правдоподобные рассуждения. М., 1957.
36. *Рапопорт А.* Математические аспекты абстрактного анализа систем.— «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
37. *Северцов А. Н.* Морфологические закономерности эволюции.— Собр. соч., т. V. М.—Л., 1949.

38. *Сетров М. И.* Об общих элементах тектологии А. Богданова, кибернетики и теории систем.— «Ученые записки кафедр общественных наук вузов г. Ленинграда. Философия», вып. 8. Л., 1967.
39. *Сетров М. И.* Принцип системности и его основные понятия.— «Проблемы методологии системного исследования». М., 1970.
40. *Спенсер Г.* Основные начала. СПб., 1899.
41. *Тастин А.* Обратная связь.— «Автоматическое управление». М., 1961.
42. *Тазтаджян А. Л.* Основы эволюционной морфологии покрытосемянных. М.— Л., 1964.
43. *Теллов Л.* Очерки о кибернетике, изд. 2. М., 1963.
44. *Тода М. и Шуффорд Э. Х. (мл.).* Логика систем: введение в формальную теорию структуры.— «Исследования по общей теории систем». М., 1969.
45. *Уемов А. И.* Некоторые тенденции в развитии естественных наук и принципы их классификации.— «Вопросы философии», 1961, № 8.
46. *Федоров Е. С.* Перфекционизм.— «Известия С.-Петербургской биологической лаборатории», т. 8 (1), т. 8 (2). СПб., 1906.
47. *Федоров Е. С.* Природа и человек.— «Природа», 1917, № 4.
48. *Фейнман Р., Лейтон Р. и Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике, вып. 6. Электродинамика. М., 1966.
49. *Шафрановский И. И.* Симметрия в природе. Л., 1968.
50. *Шибутани Т.* Социальная психология. М., 1969.
51. *Шмитхюзен И.* Общая география растительности. М., 1966.
52. *Штофф В. А.* Роль моделей в познании. Л., 1963.
53. *Шубников А. В.* Образование кристаллов. М.— Л., 1947.
54. *Шубников А. В.* Симметрия и антисимметрия конечных фигур. М., 1951.
55. *Шубников А. В.* Симметрия подобия.— «Кристаллография», 1960, вып. 5.
56. *Эшби У. Росс.* Схема усилителя умственных способностей.— «Автоматы». М., 1956.
57. *Эшби У. Росс.* Введение в кибернетику. М., 1959.
58. *Эшби У. Росс.* Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. М., 1962.
59. *Юдин Б. Г.* Методологические проблемы исследования самоорганизующихся систем.— «Проблемы методологии системного исследования». М., 1970.
60. *Bancroft W. D.* A Universal Law.— «Science», 1911, v. 33.
61. *Bertalanffy L. von.* An Outline of General System Theory.— «British Journal of Philosophy of Science», 1950, v. 1.
62. *Bertalanffy L. von.* General System Theory: a New Approach to Unity of Science.— «Human Biology», 1951, v. 23.
63. *Bertalanffy L. von.* An Essay on the Relativity of categories.— «Philosophy of Science», 1955, v. 223.
64. *Bertalanffy L. von.* General System Theory,— A Critical Review,— «General System», 1962, v. VII. (Перевод — «Исследования по общей теории систем». М., 1969).
65. *Boltzman L.* Die Methoden der theoretischen Physik. Populäre Schriften. Leipzig, 1905.
66. *Cannon W. B.* The Wisdom of the Body. London, 1932.
67. *Hall A. D., Fagen R. E.* Definition of System.— «General Systems», 1956, v. 1. (Перевод — «Исследования по общей теории систем». М., 1969).
68. *Kotarbiński T.* Traktat o dobrej robocie. Łódź, 1955.
69. *Latil P. de.* La Pensée artificielle. Gallimard, 1953.
70. *Lotka A. J.* Elements of Physical Biology. Baltimore, 1925.
71. *Petrovich M.* Mécanismes communs aux phénomènes disparates. Paris, 1921.
- 71 a. *Takhtajan A. L.* Die Evolution der Angiospermen. Jena, 1959.
72. *Volterra V.* Leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour vie. Paris, 1921.
73. *Witzeman E. J.* Mutation and Adaptation as Component Parts of a Universal Principle. I. The Principle of Rythm and Periodicity. II. The Autocatalysis curve. III. The Spectrum of Life. IV. The Behavior of Organized Units.— «American Naturalist», 1933—1934, v. 67.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

ВИНОГРАДОВ ВИКТОР АЛЕКСЕЕВИЧ — кандидат филологических наук, научный сотрудник Института языкознания АН СССР.

ГОРОХОВ ВИТАЛИЙ ГЕОРГИЕВИЧ — ведущий инженер НИИ средств управления.

ГИНЗБУРГ ЕФИМ ЛАЗАРЕВИЧ — кандидат филологических наук, научный сотрудник Института русского языка АН СССР.

ГРАВАРЕВ ЮРИЙ ИЛЬИЧ — научный сотрудник Сибирского автомобильно-дорожного института, г. Омск.

КАСЬКОВ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ — ассистент кафедры философии Новомосковского филиала Московского химико-технологического института им. М. В. Ломоносова.

КОСТЮК ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ — кандидат философских наук, доцент кафедры философии Одесского государственного университета им. И. И. Мечникова.

ЛАДЕНКО ИОСАФ СЕМЕНОВИЧ — кандидат философских наук, старший научный сотрудник Института экономики СО АН СССР.

ЛЯПУНОВ АЛЕКСЕЙ АНДРЕЕВИЧ — член-корреспондент АН СССР, СО АН СССР.

НИКАНОРОВ СПАРТАК ПЕТРОВИЧ — главный специалист научно-исследовательского сектора Института «Оргэнергострой».

ПОВАРОВ ГЕЛЛИИ НИКОЛАЕВИЧ — кандидат технических наук, доцент кафедры кибернетики Московского инженерно-физического института.

ПОРТНОВ ГРИГОРИЙ ЯКОВЛЕВИЧ — кандидат философских наук, старший научный сотрудник Одесского отделения Института экономики АН УССР.

САДОВСКИЙ ВАДИМ НИКОЛАЕВИЧ — кандидат философских наук, старший научный сотрудник Института истории естествознания и техники АН СССР.

ТАХТАДЖЯН АРМЕН ЛЕОНОВИЧ — член-корреспондент АН СССР, Ботанический институт им. В. Л. Комарова АН СССР.

УЕЛОВ АВЕНИР ИВАНОВИЧ — доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой философии Одесского государственного университета им. И. И. Мечникова.

УРМАНЦЕВ ЮНИР АБДУЛЛОВИЧ — кандидат биологических наук, научный сотрудник Института физиологии растений им. К. А. Тимирязева АН СССР.

ЮДИН БОРИС ГРИГОРЬЕВИЧ — кандидат философских наук, научный сотрудник Института конкретных социальных исследований АН СССР.

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ	5
А. А. ЛЯПУНОВ	
В чем состоит системный подход к изучению реальных объектов слож-	
ной природы?	5
Б. Г. ЮДИН	
Становление и характер системной ориентации	18
В. Н. САДОВСКИЙ	
Некоторые принципиальные проблемы построения общей теории	
систем.	35
С. И. НИКАНОРОВ	
Системный анализ и системный подход	55
В. Г. ГОРОХОВ	
Множественность представлений системы и постановка проблемы	
системного эталона	72
ФОРМАЛЬНЫЙ АППАРАТ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ	79
Н. Н. КАСЬКОВ	
Теоретико-множественное определение понятия системы	79
В. А. ВИНОГРАДОВ, Е. Л. ГИЗБУРГ	
Система, ее актуализация и описание	93
Г. Я. ПОРТНОВ А. И. УЕВОВ	
Исследование зависимостей между системными параметрами с помощью	
ЭВМ	103
Ю. А. УРМАНЦЕВ	
Опыт аксиоматического построения общей теории систем	128
ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ СИСТЕМ К АНАЛИЗУ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ	
И К ИСТОРИИ НАУКИ И ТЕХНИКИ	153
Г. Н. ПОВАРОВ	
To Daidalu pteró (К познанию научно-технического прогресса) . . .	153
И. С. ЛАДЕНКО, Ю. И. ГРАБАРЕВ	
К проблеме системного исследования науки (анализ системного заме-	
щения)	171
В. Н. КОСТЮК	
Эпистемические критерии в системах знания	180
ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМНЫХ ИДЕЙ	200
А. Л. ТАХТАДЖЯН	
Тектология: история и проблемы	200
Авторы выпуска	278

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ежегодник 1971

Утвержден к печати

*Институтом истории естествознания и техники
АН СССР*

Редактор *Н. Ф. Наумова*

Редактор издательства *Л. К. Насекина*

Художественный редактор *Н. Н. Власик*

Технический редактор *Э. Л. Кузина*

Сдано в набор 20/XII 1971 г. Подписано к печати 29/V 1972 г.

Формат 60×90¹/₁₆ Бумага № 1. Усл. печ. л. 17,5

Уч.-изд. л. 17,7 Тираж 7600 Т-09717 Тип. зак. 3214

Цена 1 р. 24 к.

Издательство «Наука»

Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука»

Москва Г-99, Шубинский пер.10

1 р. 24 к.



ИЗДАТЕЛЬСТВО • НАУКА