

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Возникновение и развитие системных представлений

§ 1.1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В современном обществе системные представления уже достигли такого уровня, что мысль о полезности и важности системного подхода к решению возникающих в практике проблем вышла за рамки специальных научных истин и стала привычной, общепринятой. Уже не только ученые, но и инженеры, педагоги, организаторы производства, деятели культуры обнаружили системность собственной деятельности и стараются осуществлять свою работу осознанно системно. Широко распространилось понимание того, что наши успехи связаны с тем, насколько системно мы подходим к решению проблем, а наши неудачи вызваны отступлениями от системности.

Было бы неверным считать, что “мышление стало системным” только во второй половине XX века. Мышление системно всегда и другим быть не может. Системность – это не такое качество, которым можно обладать или не обладать. Однако системность имеет разные уровни. Сигналом о недостаточной системности существующей деятельности является появление проблемы; разрешение возникшей проблемы осуществляется путем перехода на новый, более высокий уровень системности в нашей деятельности. Поэтому системность не столько состояние, сколько процесс.

Иллюстрацией этого может служить состояние знаний тех, кому только что сказанное представляется расплывчатым, не очень ясным: что означает само слово “система”, что означает “действовать системно”, почему “не системного” знания не бывает? Налицо проблема понимания сказанного (кстати, совсем не уникальная, а типичная для обучения). Эту проблему мы будем решать, постепенно повышая уровень системности знаний, в чем и состоит цель данной книги. Пока же нам достаточно тех ассоциаций, которые возникают, когда мы употребляем в обыденной речи слово “система” в сочетании со словами “общественно-политическая”, “Солнечная”, “нервная”, “отопительная” или “уравнений”, “показателей”, “взглядов и убеждений”, – ведь эти словосочетания обозначают (наряду с различным) и нечто общее: системность.

В данной главе мы покажем, что хотя осознание системности мира пришло с трудом и не сразу, оно не могло не прийти: системные представления возникли по объективным причинам и развиваются под действием объективных факторов.

§ 1.2. РОЛЬ СИСТЕМНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ В ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Человек – активная часть природы. Добиваясь своих целей, человек использует природу, воздействует на нее, преобразует ее и себя. Без преувеличения можно сказать, что самым важным и самым интересным для человечества кругом вопросов являются вопросы о возможностях человека в его отношениях с природой, о способах реализации этих возможностей, о факторах, способствующих и препятствующих расширению этих возможностей. К этому же кругу вопросов принадлежит и философская проблема соотношения материи и сознания.

Начнем с рассмотрения практической деятельности человека, т.е. его активного и целенаправленного воздействия на окружающую среду. Наша первая задача – показать, что человеческая практика системна. Впоследствии мы будем подробно и всесторонне рассматривать признаки системности, а сейчас отметим только самые очевидные и обязательные из них: *структурированность системы, взаимосвязанность составляющих ее частей, подчиненность организации всей системы определенной цели*. По отношению к человеческой деятельности эти признаки и в самом деле очевидны, поскольку каждый из нас легко обнаружит их в своем собственном практическом опыте. Всякое наше осознанное действие преследует определенную цель (пока оставим в стороне неосознанные действия). Во всяком действии легко увидеть его составные части, более мелкие действия. При этом легко убедиться, что эти составные

части должны выполняться не в произвольном порядке, а в определенной их последовательности. Это и есть та самая определенная, подчиненная цели взаимосвязанность составных частей, которая и является признаком системности.

СИСТЕМНОСТЬ И АЛГОРИТМИЧНОСТЬ

Другое название для такого построения деятельности – **алгоритмичность**. Понятие **алгоритма** возникло сначала в математике и означало задание точно определенной последовательности однозначно понимаемых операций над числами или другими математическими объектами. В последние годы стала осознаваться алгоритмичность любой деятельности, и уже всерьез говорят не только об алгоритмах принятия управленческих решений, об алгоритмах обучения, алгоритмах игры в шахматы, но и об алгоритмах изобретательства [2], алгоритмах композиции музыки [8]. Подчеркнем, что при этом делается отход от математического понимания алгоритма: сохраняя логическую принудительность последовательности действий, мы допускаем, что в алгоритме данной деятельности могут присутствовать и такие действия, которые не формализованы; важно лишь, чтобы этот этап алгоритма успешно выполнялся человеком, хотя и не осознанно. Например, Р.Х. Зарипов отмечает:

“...подавляющее большинство элементов творческой деятельности, реализуемых человеком “легко и просто”, “не думая”, “по интуиции”, на самом деле являются неосознанной реализацией определенных алгоритмизируемых закономерностей, реализацией неосознаваемых, но объективно существующих и формализуемых критериев красоты и вкуса” [8, с.12].

Здесь важными являются следующие моменты. Во-первых, всякая деятельность алгоритмична. Во-вторых, не всегда алгоритм реальной деятельности осознается (композитор сочиняет музыку, шофер мгновенно реагирует на изменения дорожной обстановки, вратарь ловит в броске мяч – “не думая”). В-третьих, в случае неудовлетворенности результатом деятельности возможную причину неудачи следует искать в несовершенстве алгоритма. Это означает – пытаться выявить алгоритм, исследовать его, искать “слабые места”, устранять их, т.е. совершенствовать алгоритм и, следовательно, повышать системность деятельности. Таким образом, явная алгоритмизация любой практической деятельности является важным средством ее развития.

Перейдем теперь к другой задаче – показать, что роль системных представлений в практике постоянно увеличивается, что растет сама системность человеческой практики. Последнее можно проиллюстрировать многими примерами, но поучительно сделать это на несколько схематизированном примере проблемы повышения производительности труда.

Одна из важнейших особенностей общественного производства состоит в непрерывном росте его эффективности, и прежде всего в повышении производительности труда. Подчеркнем, что этот процесс роста очень сложен, многогранен, но его итог выражается, овещается в развитии средств труда и методов его организации.

МЕХАНИЗАЦИЯ

Простейший и исторически первый способ повышения эффективности труда – **механизация**. Человек вооружается **механизмами** – от простейших орудий и приспособлений, приводимых в действие мускульной силой, до сложных машин со встроенными в них двигателями. С помощью механизмов и машин один человек выполняет физическую работу, которую без них пришлось бы выполнять многим людям.

Механизация позволяет решать многие проблемы. Например, по подсчетам акад. А.И. Берга, если бы механизация строительных работ у нас оставалась на уровне строительства Днепрогэса, то для сооружения только электростанций уже в прошлом десятилетии потребовалось бы все трудоспособное население Советского Союза. В строительстве электростанций этого не произошло – благодаря механизации. Но в целом в народном хозяйстве страны еще весьма высок процент работ, выполняемых вручну: в

промышленности – несколько меньше половины, в сельском хозяйстве и в сфере обслуживания – значительно выше. Таким образом, возможности механизации еще далеко не исчерпаны.

Однако механизация имеет естественный предел: работой механизмов управляет человек, а его возможности ограничены физиологически. Нельзя делать лопату слишком широкой – поднимать ее придется человеку. Машина не должна иметь слишком много приборов-индикаторов и рычагов управления: у человека всего два глаза и две руки. Скорость реакции человека ограничена, поэтому механизация очень быстрых процессов бессмысленна. Короче говоря, сам человек является “узким местом” механизации.

АВТОМАТИЗАЦИЯ

Решение проблемы состоит в том, чтобы вообще исключить участие человека из конкретного производственного процесса, т.е. возложить на машины не только выполнение самой работы, но и выполнение операций по регулированию хода, течения процесса работы. Технические устройства, объединившие эти две функции, называются **автоматами**.

В соответствии с этим второй способ повышения производительности труда (он же второй этап по времени и второй уровень системности общественного производства) получил название **автоматизации**.

Автоматы полностью освобождают человека от выполнения данной работы*. Они могут иметь разную сложность и выполнять разнообразные работы. В быт вошли торговые и игровые автоматы, автоматическая телефонная связь, в промышленности уже существуют целые автоматические линии, цехи и заводы, развивается промышленная и транспортная робототехника. Расширенные возможности представляют перестраиваемые, многофункциональные автоматы, среди которых особое место занимают ЭВМ. Автоматизации поддаются все более сложные работы, в том числе такие, которые прежде выполнялись только в виде мыслительной деятельности. Это опять-таки вызывается объективной необходимостью. А.И. Берг приводил данные, что если бы плановые, экономические и финансовые органы нашей страны обрабатывали всю информацию по-старому, на счетах и арифмометрах, то сейчас все трудоспособное население страны должно было бы работать “в бухгалтериях”. Этого не произошло – благодаря автоматизации с помощью ЭВМ.

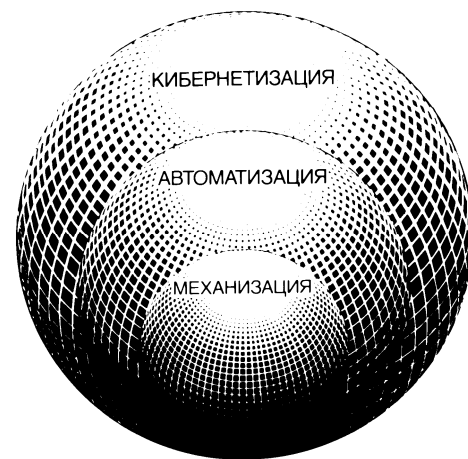
Однако очень важно понять, что автоматизировать, т.е. полностью возложить на машину, можно только те работы, которые детально изучены, подробно и полно описаны, в которых точно известно, что, в каком порядке и как надо делать в каждом случае, и точно известны все возможные случаи и обстоятельства, в которых может оказаться автомат. Только при таких условиях можно сконструировать соответствующий автомат, и только в этих условиях он может успешно выполнять работу, для которой предназначен. Пользуясь уже знакомой нам терминологией, можно сказать, что автомат реализует некоторый алгоритм (в математическом смысле этого слова), и если алгоритм в какой-то своей части неправилен или неточен либо встретилась ситуация, не предусмотренная алгоритмом, то поведение автомата не может соответствовать целям его создания.

Итак, автоматизация является мощным средством повышения производительности труда: по мере совершенствования наших знаний о тех или иных производственных процессах последние могут быть автоматизированы во все большей степени. Однако и у автоматизации в свою очередь существует естественный предел: в реальной жизни часто приходится сталкиваться с непредвиденными условиями и с невозможностью полной формализации многих практических действий.

КИБЕРНЕТИЗАЦИЯ

Наиболее остро такие проблемы возникают в процессе руководства человеческими коллективами, при управлении производственными системами, при проектировании и

*Правда при этом человеку приходится выполнять другую работу – по созданию и обслуживанию автоматов, но это труд совсем другого уровня и квалификации, и, кстати, также в принципе автоматизируемый.



**1.1 Схема этапов
повышения
производительности труда**

эксплуатации крупных
технических
комплексов, при
вмешательстве
(например,
медицинском или
исследовательском) в
жизнедеятельность
человеческого
организма, при
воздействии человека на
природу, т.е. в тех
случаях, когда
приходится
взаимодействовать со
сложными
системами*. Повышение

эффективности такого взаимодействия является как объективной, так и субъективной необходимостью, и, естественно, человечество вырабатывает способы решения возникающих при этом проблем.

Совокупность таких способов представляет собой третий уровень системности практической деятельности человека. Этот уровень можно назвать *кибернетизацией*, поскольку кибернетика первой среди других подходов стала претендовать на научное решение проблем управления сложными системами (хотя она оправдала не все ожидания). Соотношение между тремя рассмотренными уровнями организации труда иллюстрирует рис.1.1.

Основная идея разрешения проблем, связанных со сложными системами, состоит в том, чтобы в тех случаях, когда автоматизация (т.е. формальная алгоритмизация) невозможна, использовать ту человеческую способность, которая именно в таких случаях проявляется и которая называется *интеллектом*: способность ориентироваться в незнакомых условиях и находить решение слабо формализованных задач (сказочный герой мог решать даже такую задачу: “Пойди туда, не знаю куда, принеси то, не знаю что”). При этом человек выполняет именно те операции в общем алгоритме, которые не поддаются формализации (например, экспертная оценка или сравнение многомерных и неколичественных вариантов, принятие управленческих решений, взятие на себя ответственности). Именно на этом принципе строятся автоматизированные (в отличие от автоматических) системы управления, в которых формализованные операции выполняют автоматы и ЭВМ, а неформализованные (и, возможно, неформализуемые) операции – человек. Этот путь, следовательно, состоит в разумном использовании естественного человеческого интеллекта.

Однако на этом возможности кибернетизации не кончаются, а, скорее, лишь начинаются. Вполне логично, в духе лучших научных традиций, возникает вопрос: нельзя ли смоделировать интеллектуальные возможности человека – хотя бы в той части, которая необходима для выполнения конкретных, пусть частных, интеллектуальных операций? Здесь опыт науки и техники подсказывает два пути: “подглядеть” у природы алгоритмы интеллектуальной деятельности (т.е. изучать естественный интеллект) либо “изобрести” эвристически алгоритм предположительно с интеллектуальными свойствами и исследовать, что это даст (т.е. конструировать интеллект искусственно).

* В гл. 4 термину “сложная система” будет придан более точный смысл, а сейчас нам достаточно того (пусть расплывчатого) общеупотребительного смысла, который это понятие имеет в естественном языке. Впрочем, одну важную сторону сложности мы уже отметили: неформализуемость ряда процессов, происходящих в системе и непредвиденность некоторых внешних условий.

По ходу изложения мы еще не раз будем возвращаться к проблемам и результатам кибернетизации. Пока же отметим, что техническими средствами для этого служат автоматы и ЭВМ. Их совершенствование и использование для самых разнообразных нужд, создание алгоритмов и программных систем для ЭВМ приобрели исключительно важное значение. Настолько важное, что все связанное с использованием ЭВМ стали выделять в отдельную область науки и техники, названную *информатикой*.

Но не менее важная сторона процесса кибернетизации связана с изучением самих систем, созданием методов организации и управления сложными системами, развитием системных представлений, системных теорий.

Подведем итог

Summary

Природная системность человеческой практики является одним из объективных факторов возникновения и развития системных понятий и теорий. Естественный, спонтанный рост системности человеческой деятельности сопровождается, дополняется осознанием этой системности, а затем ускоряется ее сознательным повышением. Роль знания и соблюдения принципов системности в практике возрастает. Алгоритмизация любого вида деятельности – важный способ повышения ее системности.

The natural and spontaneous increase in the systematicity of human activity, combined with and supported by the recognition and conscious development of this systematicity, has been an objective factor in the appearance and development of systems principles in human endeavor is increasing. Algorithmization is an important means of raising the level of systematicity of any given activity.

§ 1.3. ВНУТРЕННЯЯ СИСТЕМНОСТЬ ПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассматривая объективные причины возникновения и факторы развития системных представлений и соответствующих методов и теорий, мы должны отметить объективные особенности человеческого мышления. Покажем, что сам процесс познания системен и что знания, добытые человечеством, также системны.

Современные представления об окружающем нас мире позволяют говорить о его бесконечности в пространстве и времени, о возможности неограниченного расширения и углубления наших знаний о любом объекте, сколь бы велик или мал он ни был. Человек существует конечное время и располагает конечными материальными, энергетическими и информационными ресурсами. И все же человечеству удастся познавать мир и, как показывает его практика, познавать верно. А. Эйнштейн отмечал, что самое удивительное в природе то, что она познаваема.

Противоречия между неограниченностью желаний человека познать мир и ограниченностью существующих возможностей сделать это, между бесконечностью природы и конечностью ресурсов человечества имеют много важных последствий, в том числе и в самом процессе познания человеком окружающего мира.

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ В ПОЗНАНИИ

Одна из таких особенностей познания, которые позволяют постепенно, поэтапно разрешать эти противоречия, – наличие аналитического и синтетического образов мышления. Суть *анализа* состоит в разделении целого на части, в представлении сложного в виде совокупности более простых компонент. Но чтобы познать целое,

сложное, необходим и обратный процесс – **синтез**. Это относится не только к индивидуальному мышлению, но и к общечеловеческому знанию.

Аналитичность человеческого знания находит свое отражение в существовании различных наук, в продолжающейся дифференциации наук, во все более глубоком изучении все более узких вопросов, каждый из которых сам по себе тем не менее интересен, важен и необходим. Вместе с тем столь же необходим и обратный процесс синтеза знаний. Так возникают “пограничные” науки типа биохимии, физикохимии, биофизики или бионики. Однако это лишь одна из форм синтеза. Другая, более высокая форма синтетических знаний реализуется в виде наук о самых общих свойствах природы. Философия выявляет и отображает все (любые) общие свойства всех форм материи; математика изучает некоторые, но также всеобщие, отношения. К числу синтетических относятся и системные науки: кибернетика, теория систем, теория организации и др. В них необходимым образом соединяются технические, естественные и гуманитарные знания.

Итак, расчлененность мышления (на анализ и синтез) и взаимосвязанность этих частей являются очевидными признаками системности познания.

ЭВОЛЮЦИЯ ВЗГЛЯДОВ НА СИСТЕМНОСТЬ МЫШЛЕНИЯ

Интересно отметить, что осознание диалектического единства анализа и синтеза пришло не сразу, и в разные исторические эпохи системность мышления имела различный характер [1]. Ф. Энгельс отмечал, что в древней Греции преобладало нерасчлененное знание:

“...природа еще рассматривается в общем, как одно целое. Всеобщая связь явлений природы не доказывается в подробностях: она является для греков результатом непосредственного созерцания” [11, с. 369].

Для последующего этапа – метафизического способа мышления – характерно преобладание анализа:

“Разложение природы на ее отдельные части, разделение различных процессов и предметов природы на определенные классы, исследование внутреннего строения органических тел по их многообразным анатомическим формам – все это было основным условием тех исполинских успехов, которые были достигнуты в области познания природы за последние четыреста лет. Но тот же способ оставил нам вместе с тем и привычку рассматривать вещи и процессы природы в их обособленности, вне их великой связи, и в силу этого – не в движении, а в неподвижном состоянии, не как существенно изменчивые, а как вечно неизменные, не живыми, а мертвыми” [11, с. 20-21].

Сами метафизики ощущали незавершенность аналитического знания, видели возможность и даже необходимость синтеза, но считали синтез произвольной деятельностью ума, не имеющей отношения к природе. Так, Ф. Бэкон писал:

“Человеческий разум в силу своей склонности легко предполагает в вещах больше порядка и единообразия, чем их находит. И в то время, как многое в природе единично и совершенно не имеет себе подобия, он придумывает параллели, соответствия и отношения, которых нет” [4, с. 20].

Р. Декарт утверждал, что разум должен предполагать “порядок даже и там, где объекты мышления вовсе не даны в их естественной связи” [7, с. 272].

Новый, более высокий уровень системности познания представляет собой диалектический способ мышления.

В развитие диалектики значительный вклад внесли представители немецкой классической философии – И. Кант, И. Фихте, Ф. Шеллинг.

У Канта имеются прямые суждения о системности самого мышления и его развития:

“Достигаемое разумом единство есть единство системы” [9, с. 577].

“Системы [знаний] кажутся, подобно червям, возникающими путем *generatio aequivoca** из простого скопления собранных вместе понятий, сначала в изуродованной, но с течением времени в совершенно развитой форме” [9, с. 681 – 682].

Но Кант считал систему только идеальной:

“Под системой же я разумею единство многообразных знаний, объединенных одной идеей” [9, с. 680].

Исследование процессов развития познания, соотношения познания и реальности привело Гегеля к окончательному формированию диалектики. Материалистическая интерпретация диалектики, построенная Марксом, дополнила общую картину до современного понимания системности мышления. При этом диалектический подход состоит в том, чтобы не только противопоставлять материалистическую диалектику идеалистической, но и видеть их взаимодействие. Если рассматривать диалектику как методологию согласования системности мышления с системностью природы, то такое согласование возможно вести в двух направлениях, взяв за начальную точку либо материю, либо сознание. Ясно, что полную картину мы будем иметь, лишь рассмотрев весь замкнутый цикл такого согласования. Истина состоит не только в том, что бытие определяет сознание, но и в том, что сознание определяет бытие.

Подведем итог

Одной из важнейших объективных причин возникновения системных наук является системность самого человеческого мышления*. В данном параграфе основное внимание было уделено системности процесса логического познания, что прежде всего проявляется в его структурированности, в частности в выделении подпроцессов анализа и синтеза. Системы и сам результат познания, т.е. сами полученные знания, само их представление; однако этот вопрос столь важен для данного курса, что ему будет посвящена отдельная глава (см. гл. 2).

Summary

One of the most significant objective factors in the development of systems sciences is the systematicity of human thought itself.* This section focuses on the systems nature of logical reasoning, which is apparent in its organizational structure, in particular, its division into component processes of analysis and synthesis. The products of cognition – i.e., knowledge and its presentation – are also systemic in nature, but this issue is sufficiently important that it will be discussed separately in Chapter Two.

§ 1.4. СИСТЕМНОСТЬ КАК ВСЕОБЩЕЕ СВОЙСТВО МАТЕРИИ

Обсуждая объективные причины развития системных представлений, мы убедились, что к важнейшим из этих причин относятся системность человеческой практической деятельности (см. § 1.2) и внутренняя системность человеческого мышления (см. § 1.3). Возникает вопрос не является ли системность специфическим свойством человека, своего рода приспособлением, выработанным им для собственного удобства, облегчения, упрощения своей деятельности в окружающем мире, а сам мир не только безразличен к тому, кто и как его познает, и познает ли вообще, но может и не иметь ничего общего с нашими представлениями о нем?

* Отметим, что здесь мы делаем акцент на логическом, сознательном мышлении и не касаемся других важных аспектов интеллекта – роли социальных, эмоциональных, подсознательных, физиологических и других компонент в человеческом мышлении.

Поставленный вопрос порождает множество переплетенных между собой проблем. Можно (как это было сделано в первом издании данной книги) рассмотреть философские аспекты познавательного процесса, сопоставить мнения философов различных направлений. Несмотря на различия между воззрениями разных авторов на процессы познания и практики, почти все они признавали существование связи между мышлением и реальностью (мышление как отражение реальности, мышление как один из природных процессов),

“ввиду чего мы должны предполагать систематическое единство природы как объективно значимое и необходимое” [9, с 588].

К выводам, аналогичным приведенному высказыванию И. Канта, приходили многие философы. Системность природы не только логически выводится в рамках теоретических построений, но и практически проявляется в реально наблюдаемых явлениях, как с участием человека, так и без него.

ВСЯ ПРИРОДА СИСТЕМНА

Ныне системность понимается не только как свойство человеческой практики (включающей и внешнюю активную деятельность, и мышление, и даже пассивное созерцание), но и как свойство всей материи. Системность нашего мышления вытекает из системности мира. Современные представления позволяют говорить о мире как о бесконечной иерархической системе систем, находящихся в развитии, на разных стадиях развития, на разных уровнях системной иерархии, взаимодействующих друг с другом. Все новые и новые естественнонаучные данные подкрепляют такие представления. Например, И. Пригожин недавно построил теорию, успешно объясняющую процессы самоорганизации в природе. Оказалось, что неоспоримые факты спонтанного возникновения организованных систем из хаоса вполне объяснимы внутренними свойствами самой материи [13].

СИСТЕМЫ КАК АБСТРАКЦИЯ

Присоединяясь к точке зрения на системность как на всеобщее, универсальное свойство всей природы, должны отметить, что существует и другая точка зрения. Некоторые авторы считают, что возможность по-разному выделять систему из цельного мира означает, что системы – лишь наши представления о мире. Например, в монографии Дж. Клира приводится такое определение системы:

“Система – это то, что различается как система... Системой является все то, что мы хотим рассматривать как систему” [10, с. 24].

На первый взгляд, такой подход снимает многие вопросы, которые нам приходится подробно обсуждать в данной главе. Во-первых, вместе с понятием естественных систем исчезают трудности объяснения целесообразности и самоорганизации в природе. Во-вторых, исследование систем сводится к исследованию построенных моделей, и единственным экспериментальным методом системологии становятся машинные (вычислительные) эксперименты.

Допустимый для специалистов, занимающихся разработкой высокосложных компьютерных технологий, такой подход совершенно неприемлем для специалистов по системному анализу, объектом исследований которых являются реальные жизненные ситуации, требующие практического (и улучшающего!) вмешательства. В системном анализе на первый план выступает вопрос об адекватности моделей, об их соответствии реальности, а это неизбежно ведет от представлений о системности наших знаний о мире к представлениям о системности самого мира.

И все-таки в приведенных выше высказываниях Дж. Клира есть рациональное зерно. Возможность по-разному расчленять реальный мир на относительно отдельные части, каждую из которых можно рассматривать как систему, и создает

* Самозарождения (лат). В те времена считалось, что черви зарождаются в питательной среде самопроизвольно, без участия других живых клеток.

впечатление, будто системой является все то, что мы хотим считать системой. Еще дальше идущей абстракцией является понятие множества как произвольно формулируемой совокупности.

Примененное к реальным объектам, это понятие совпадает с понятием системы (система всех рек, система всех элементарных частиц и т.п.). Однако из-за реальной всеобщей взаимосвязанности не бессмысленно говорить о свойствах множества всех рек региона, континента, Земли и практически изучать эти свойства. Таким образом, дело оказывается не в том, что мы хотим рассматривать некоторое множество реальных объектов как систему, а в том, что оно действительно образует систему со своими, специфическими для нее свойствами.

СВОЙСТВА ЛЮБЫХ СИСТЕМ

Однако, как бы ни понималась системность (как свойство разума, позволяющее познать мир, или как свойство самой природы), все исследователи этого феномена сходятся во мнениях относительно характеристических признаков любой системы независимо от ее происхождения. Не претендуя на законченность списка таких особенностей, приведем перечень важнейших, необходимых признаков того, что данный объект, явление, процесс или их модель имеют системный характер.

1. Всякая система обладает целостностью, обособленностью от окружающей ее среды, выступает как нечто отдельное, единое. (Примеры: рыба в воде, море и окружающая его суша, наука в культуре, солнечная система в галактике, геометрия в математике и т.д.).

2. Обособленность, выделенность системы в среде не означает ее изолированности от среды: система связана со средой, существует в ней, взаимодействует с ней, обменивается со средой энергией, материей, информацией (в разных пропорциях, в зависимости от природы системы). Иными словами – все системы открыты; замкнутых (т.е. изолированных от среды) систем не бывает. Можно вообразить замкнутую систему, но проверить, доказать ее реальность невозможно – ведь с ней нельзя взаимодействовать, т.е. нет опыта, в котором проявилось бы ее существование.

3. Цельность системы не означает ее однородности и неделимости: наоборот, в системе можно различать определенные составные части.

4. Разделимость системы на части не означает, что эти части полностью изолированы друг от друга. Наоборот, части образуют целое благодаря связям между ними. Открытость системы означает, что ее части связаны и с внешней средой, но цельность системы основана на том, что внутренние связи частей, образующие структуру системы, в каком-то отношении сильнее, существеннее, важнее, чем их внешние связи.

5. Целостность системы обусловлена тем, что система как целое обладает такими свойствами, которых нет и не может быть у составляющих ее частей. Свойства системы не сводятся к свойствам ее частей, не являются простой совокупностью этих свойств. Система и существует, и выделяется, и описывается как носитель этих качественно новых свойств. (Возникновение принципиально нового качества, не существующего без объединения частей в систему, называется **эмерджентностью**.) Понятие эмерджентности проясняет разницу между внешними и внутренними связями системы: свойство системы как целого проявляется в ее взаимодействии с окружающей средой (т.е. реализуется через внешние связи как **функция** системы), но само это свойство возникает и может существовать лишь благодаря взаимодействию частей (т.е. благодаря внутренним связям, т.е. благодаря **структуре** системы).

6. Понятие эмерджентности позволяет подчеркнуть еще один аспект внутренней целостности системы. Изъятие части из системы приводит к тому, что система при этом теряет какие-то существенные свойства, т.е. становится другой системой. Более того, часть, изъятая из системы, также теряет свои существенные свойства, которые могли реализовываться лишь до тех пор, пока эта часть находилась в системе. Поэтому основа холистического (целостного) подхода состоит в недопустимости рассмотрения частей системы по отдельности, вне их взаимодействия с другими частями.

7. Открытость системы, ее связанность со средой означает, что она (система) в свою очередь входит в какую-то большую систему, является частью в этой большей системе. В результате мир выглядит (существует!) как иерархическая система вложенных друг в друга, перекрывающихся частично или полностью, или разделенных, но взаимодействующих систем.

8. Внутренняя и внешняя целостность систем обобщаются, объединяются, синтезируются в понятии *цели*, которая как бы диктует и структуру, и функцию системы. Функция системы интерпретируется как проявление целеустремленности системы; структура системы выступает при этом как вариант реализации цели. В связи с этим рассмотрение целей системы становится одной из центральных проблем системологии. В частности, проводится различие между субъективными и объективными целями (и, соответственно, между искусственными и естественными системами).

9. Системы не являются застывшими, неизменными образованиями. Наоборот, в результате внешних и внутренних взаимодействий, все системы находятся в динамике, подвержены постоянным изменениям, происходящим с разной интенсивностью. Многообразие процессов, происходящих с системами, велико; их классификация проводится по разным основаниям (развитие – рост – равновесие – убыль – деградация; цикличность – непериодичность; детерминированность – случайность; рождение – жизнь – смерть; и т.д.). Многие явления в системах невозможно понять без учета их динамики.

В последующих главах мы подробно детализируем и обоснуем эти тезисы, а также постараемся показать, как на их основе строятся методология исследования и проектирования систем, методы целевого (успешного, правильного, системного) воздействия на системы.

Подведем итог

Системны не только человеческая практика и мышление, но и сама природа, вся Вселенная. Системность является настолько присущим и всеобщим свойством материи, что его можно назвать формой существования материи. Известные формы существования материи – время, пространство, движение, структурированность – представляют собой частные проявления, аспекты системности мира.

Summary

Human activity and thought display properties of systems, but so do Nature and the entire Universe. Systematicity is so inherent and general a property of matter that it can be called a form of existence of matter. The other forms of material existence known to us – time, space, movement, and organization – are only particular phenomena or aspects of world systematicity.

§ 1.5. КРАТКИЙ ОЧЕРК ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

В предыдущих параграфах мы отмечали, что для возникновения системных понятий и теорий имеются непреходящие объективные причины, и поэтому такие теории не могли не возникнуть, а возникнув – не могут не развиваться, и существующее состояние является лишь очередным этапом этого развития, которое будет продолжаться. Однако этот процесс происходит негладко, в нем возможны не только рывки вперед, но и остановки и даже отступления назад. Осознание системности мира и модельности мышления всегда отставало от эмпирической системности человеческой практики. Хотя всегда существует возможность придать слишком большое значение событиям

настоящего времени, но, пожалуй, не будет преувеличением сказать, что сейчас в процессе развития системных представлений происходит нечто качественно новое: системное мышление и системная методология становятся массовыми и в этом качестве обращаются в “материальную силу”, повышая уровень человеческой практики.

История развития системных представлений первоначально шла по нескольким отдельным направлениям. С разных исходных позиций приближались к современному пониманию системности философская мысль и конкретно-практическая научная и техническая методология. В своем движении к единой, объективной истине они неминуемо должны были сойтись, сопоставить результаты, понять общность и различия; свидетелями и участниками этого этапа синтеза научного знания мы и являемся.

Интересно отметить, что философия примерно на сто лет раньше вышла “в район встречи”, на высшую позицию в осознании системности материи, сознания и их отношения. Итогом обобщений, развития и борьбы в философии стала материалистическая диалектика. Результаты философии относятся к множеству всех существующих и мыслимых систем, носят всеобщий характер. Их применение к рассмотрению конкретных ситуаций означает переход к суженному множеству систем, учет его особенностей в проявлении общих закономерностей (дедуктивный метод).

СИСТЕМНОСТЬ КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Конкретные науки большей частью придерживаются противоположного, индуктивного метода – от исследования реальных систем к установлению общих закономерностей. Это относится и к собственно системным закономерностям. Например, Эддингтон подчеркивал, что “первая” физика, изучающая свойства отдельных частиц и тел, это лишь первые шаги в изучении природы, что принципиально новыми свойствами обладают взаимодействующие совокупности, ансамбли атомов и молекул, являющиеся объектами изучения “второй” физики. Законы системы, отмечал Эддингтон, невыводимы только из первичных закономерностей.

Интересно и полезно проследить, как именно шло развитие системных представлений в той или иной конкретной науке; конечно, это нашло (и не могло не найти) отражение в исследованиях по истории каждой естественной и гуманитарной науки. Несмотря на это, специальное изучение этапов повышения системности, с намеренным интересом именно к системным проблемам данной науки, остается актуальной задачей.

В свете современных представлений системность всегда, осознанно или неосознанно, была методом любой науки; любой ученый прошлого, и не помышлявший о системах и моделях, именно с ними и имел дело. Как уже отмечалось, быстрее всего была осознана системность самого человеческого познания. Философия, логика, основания математики – области, в которых споры по системным проблемам уходят в глубь веков. Однако для нас особый интерес представляют те моменты в истории, когда системность привлекала внимание как объект исследования для естественных и технических наук.

ПЕРВЫЕ ШАГИ КИБЕРНЕТИКИ

Первым в явной форме вопрос о научном подходе к управлению сложными системами поставил М.-А. Ампер. При построении классификации всевозможных, в том числе и несуществовавших тогда, наук (“Опыт о философии наук, или аналитическое изложение классификации всех человеческих знаний”, ч. I – 1834 г., ч. II – 1843 г.) он выделил специальную науку об управлении государством и назвал ее кибернетикой. При этом он не только обозначил необходимое место для кибернетики в ряду других наук, но и подчеркнул основные ее системные особенности:

“Беспрестанно правительству приходится выбирать среди различных мер ту, которая более всего пригодна к достижению цели (...) и лишь благодаря углубленному и сравнительному изучению различных элементов, доставляемых ему для этого выбора, знанием всего того, что касается управляемого им народа, – характера, воззрений, истории, религии, средств существования и процветания, организаций и законов, – может оно составить себе общие правила поведения, руководящие им в каждом конкретном

случае. Эту науку я называю кибернетикой от слова κυβερνητική, обозначавшего сперва, в узком смысле, искусство управления кораблем, а затем постепенно получившего у самих греков гораздо более широкое значение искусства управления вообще”.

Ампер только еще пришел к выводу о необходимости кибернетики, а Б. Трентовский, польский философ-гегельянец, уже читал во Фрейбургском университете курс лекций, содержание которого опубликовал на польском языке в 1843 г. Его книга называлась “Отношение философии к кибернетике как искусству управления народом”*. Трентовский ставил целью построение научных основ практической деятельности руководителя (“кибернета”) :

“Применение искусства управления без сколько-нибудь серьезного изучения соответствующей теории подобно врачеванию без сколько-нибудь глубокого понимания медицинской науки”.

Он подчеркивал, что действительно эффективное управление должно учитывать все важнейшие внешние и внутренние факторы, влияющие на объект управления:

“При одной и той же политической идеологии кибернет должен управлять различно в Австрии, России или Пруссии. Точно так же и в одной и той же стране он должен управлять завтра иначе, чем сегодня”.

Главная сложность в управлении, по Трентовскому, связана со сложностью поведения людей:

“Люди не математические символы и не логические категории, и процесс управления – это не шахматная партия. Недостаточное знание целей и стремлений людей может опрокинуть любое логическое построение. Людями очень трудно командовать и предписывать им наперед заданные действия. Приказ, если кибернет вынужден его отдавать, всегда должен четко формулироваться. Исполняющему всегда должен быть понятен смысл приказа, его цели, результат, который будет достигнут, и кара, которая может последовать за его невыполнением, – последнее обязательно”.

С позиций диалектики Трентовский понимал, что общество, коллектив, да и сам человек – это система, единство противоречий, разрешение которых и есть развитие. Поэтому кибернет должен уметь, исходя из общего блага, одни противоречия примирять, другие – обострять, направляя развитие событий к нужной цели:

“Короче говоря, кибернет не проектирует будущее, как старается сделать некий радикальный философ, – он позволяет будущему рождаться своим собственным независимым способом. Он оказывает будущему помощь как опытный и квалифицированный политический акушер”.

Даже по этим нескольким кратким высказываниям из книги Трентовского можно видеть, насколько далеко ему удалось продвинуться в понимании необходимости алгоритмизации человеческой деятельности в осознании системности человеческих коллективов, групп, формальных и неформальных образований, в понимании сложности управления людьми. Можно согласиться с оценкой Н.Н. Моисеева:

“Я думаю, что его книга – одно из удачных изложений методологических принципов управления в домарксистский период. Это веха, показывающая становление кибернетики как общей науки об управлении, о каркасе, как говорил Б. Трентовский, через который отдельные науки могут соединиться и взаимодействовать для достижения общих целей” [11, с. 20].

И все же общество середины прошлого века оказалось не готовым воспринять идеи кибернетики. Практика управления еще могла обходиться без науки управления. Кибернетика родилась слишком рано и была позабыта.

Прошло около полувека, и системная проблематика снова появилась в поле зрения науки. На этот раз внимание было сосредоточено на вопросах структуры и организации систем. Поразительным, например, оказалось открытие, опубликованное в 1891 г. акад. Е.С. Федоровым, что может существовать только 230 разных типов кристаллической

* Мы будем цитировать Б. Трентовского по книге Н.Н. Моисеева [11].

решетки, хотя любое вещество при определенных условиях может кристаллизоваться. Конечно, это открытие прежде всего в области минералогии и кристаллографии, но его более общий смысл и значение отметил сам Федоров. Важным было осознать, что все невообразимое разнообразие природных тел реализуется из ограниченного и небольшого числа исходных форм. Это оказывается верным и для языковых устных и письменных построений, архитектурных конструкций, строения вещества на атомном уровне, музыкальных произведений, других систем. Но Федоров пошел дальше. Развивая системные представления, он установил и некоторые закономерности развития систем. Ему принадлежит наблюдение, что главным средством жизнеспособности и прогресса систем является не их приспособленность, а способность к приспособлению (“жизненная подвижность”), не стройность, а способность к повышению стройности. Е.С. Федорова можно заслуженно отнести к числу основоположников теории систем.

ТЕКТОЛОГИЯ БОГДАНОВА

Следующая ступень в изучении системности как самостоятельного предмета связана с именем А.А. Богданова*. В 1911 г. вышел в свет первый том, а в 1925 г. – третий том его книги “Всеобщая организационная наука (тектология)” [3]. Большая общность тектологии связана с идеей Богданова о том, что все существующие объекты и процессы имеют определенную степень, уровень организованности. В отличие от конкретных естественных наук, изучающих специфические особенности организации конкретных явлений, тектология должна изучать общие закономерности организации для всех уровней организованности. Все явления рассматриваются как непрерывные процессы организации и дезорганизации. Богданов не дает строгого определения понятия организации, но отмечает, что уровень организации тем выше, чем сильнее свойства целого отличаются от простой суммы свойств его частей. Пожалуй, самой важной особенностью тектологии является то, что основное внимание уделяется закономерностям развития организации, рассмотрению соотношений устойчивого и изменчивого, значению обратных связей, учету собственных целей организации (которые могут как содействовать целям высшего уровня организации, так и противоречить им), роли открытых систем. Богданов довел динамические аспекты тектологии до рассмотрения проблемы кризисов, т.е. таких моментов в истории любой системы, когда неизбежна коренная, “взрывная” перестройка ее структуры. Он подчеркивал роль моделирования и математики как потенциальных методов решения задач тектологии.

Даже из столь беглого обзора основных идей тектологии видно, что Богданов предвосхитил, а кое в чем и превзошел многие положения современных кибернетических и системных теорий. Тот факт, что к тектологии стали обращаться лишь в самые последние годы, объясняется в большой степени противоречивостью, сложностью личности и судьбы Богданова. Талантливый и самонадеянный, увлекающийся и теряющий чувство меры, по профессии медик, он всерьез заинтересовался философией, но от материализма перешел на позиции махизма, создав собственную философию – эмпириомонизм. В.И. Ленин в “Материализме и эмпириокритицизме” подверг его жесткой критике, после чего Богданов отошел вообще от всякой философии, включая собственную. Он активно участвовал в политической деятельности, но когда русская социал-демократия отвергла его вместе с “богоискателями”, вообще прекратил работу в партии. Тем не менее после революции он вошел в состав Коммунистической Академии; написал не потерявший значение и поныне “Краткий курс политической экономии”. В.И. Ленин поддержал также его идею создать первый в мире Институт переливания крови, и Богданов, став его директором, начал проверять некоторые выводы тектологии, которую разрабатывал последние 20 лет своей жизни, на примере действительно сложной системы – кровеносной. Рискованные опыты он проводил на себе, и его абсолютная вера в безошибочность всех своих гипотез привела к трагедии: один из таких опытов окончился

* Богданов – это псевдоним, его настоящая фамилия – Малиновский.

его гибелью. Преувеличение значимости своих идей Богдановым проявилось и в том, как он оценивал соотношение тектологии с философией:

“По мере своего развития тектология должна сделать излишней философию, и уже с самого начала стоит над нею, соединяя с ее универсальностью научный и практический характер” [3, с. 209].

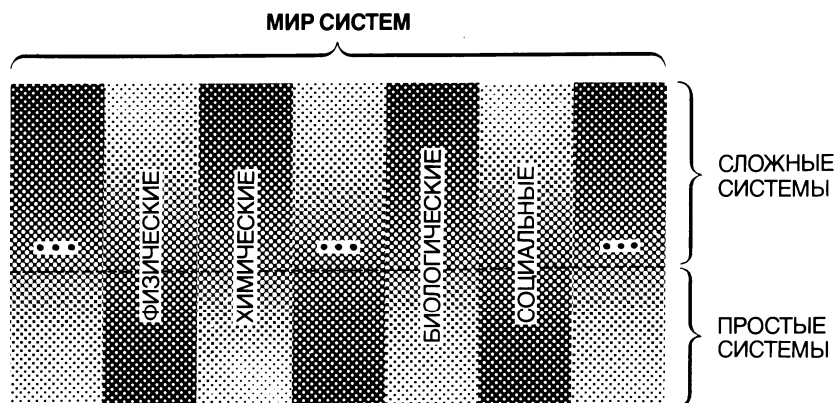
Все это в совокупности с новизной предмета тектологии и первоначальным непониманием ее задач и привело к тому, что о ней вспомнили только тогда, когда другие начали приходить к тем же результатам. Теперь ясно, что приоритет и вклад А.А. Богданова в развитие системных представлений нельзя недооценивать.

КИБЕРНЕТИКА ВИНЕРА

По-настоящему явное и массовое усвоение системных понятий, общественное осознание системности мира, общества и человеческой деятельности началось с 1948 г., когда американский математик Н. Винер опубликовал книгу под названием “Кибернетика” [5]. Первоначально он определил кибернетику как “науку об управлении и связи в животных и машинах”. Однако очень быстро стало ясно, что такое определение, сформировавшееся благодаря особому интересу Винера к аналогиям процессов в живых организмах и машинах, неоправданно сужает сферу приложения кибернетики. Уже в следующей книге [6] Н. Винер анализирует с позиций кибернетики процессы, происходящие в обществе.

Сначала кибернетика привела многих ученых в замешательство: оказалось, что кибернетики берутся за рассмотрение и технических, и биологических, и экономических, и социальных объектов и процессов. Возник даже спор – имеет ли кибернетика свой предмет исследования. Первый международный конгресс по кибернетике (Париж, 1956) даже принял предложение считать кибернетику не наукой, а “искусством эффективного действия”. В нашей стране кибернетика была встречена настороженно и даже враждебно. Рекламные заявления американских кибернетиков о работе над созданием “мыслящих машин” некоторыми философами были восприняты буквально, и кибернетика была объявлена ими идеалистической лженаукой.

По мере развития кибернетики, уточнения ее понятий, разработки ее собственных методов, получения конкретных результатов в разных областях стало очевидным, что кибернетика – это самостоятельная наука, со своим, характерным только для нее предметом изучения, со своими специфическими методами исследования. В становление кибернетики внесли вклад и советские ученые. Важную роль сыграли определения, сформулированные в период горячих дискуссий о сути кибернетики: *кибернетика – это наука об оптимальном управлении сложными динамическими системами* (А.И. Берг); *кибернетика – это наука о системах, воспринимающих, хранящих, перерабатывающих и использующих информацию* (А.Н. Колмогоров). Эти определения признаны весьма общими и полными. Хотя в них необходимо разъяснить практически каждое слово (что и будет сделано в следующих главах), из них видно, что предметом кибернетики является исследование систем. Важно подчеркнуть, что, хотя при изучении системы на каком-то этапе потребуется учет ее конкретных свойств, для кибернетики в принципе несущественно, какова природа этой системы, т.е. является ли она физической, биологической, экономической, организационной или даже воображаемой, нереальной системой. Это делает понятным, почему кибернетика “вторгается” в совершенно разнородные сферы. Если (в порядке шутки) представить себе весь мир как “булку хлеба”, от которой каждая наука “отрезает себе ломоть”, то, образно говоря, все науки разрезают эту булку “поперек”, а кибернетика – “вдоль”: в кибернетический “ломтик” попадают объекты любой природы, как только они оказываются сложными системами (рис. 1.2). То, что кибернетические методы могут применяться к исследованию объектов, традиционно “закрепленных” за той или иной наукой, должно рассматриваться не как “постороннее вмешательство неспециалистов”, а как рассмотрение этих объектов с другой точки зрения. Более того, при этом происходит



1.2 ————— Отношение между кибернетикой и другими науками

взаимное обогащение кибернетики и других наук: с одной стороны, кибернетика получает возможность развивать и совершенствовать свои модели и методы, с другой – кибернетический подход к системе определенной природы может прояснить некоторые проблемы данной науки или даже выдвинуть перед ней новые проблемы, а главное – содействовать повышению ее системности.

С кибернетикой Винера связаны такие продвижения в развитии системных представлений, как типизация моделей систем, выявление особого значения обратных связей в системе, подчеркивание принципа оптимальности в управлении и синтезе систем, осознание информации как всеобщего свойства материи и возможности ее количественного описания, развитие методологии моделирования вообще и в особенности идеи математического эксперимента с помощью ЭВМ. Все это, без преувеличения, сыграло революционизирующую роль в развитии общественного сознания, человеческой практики и культуры, подготовило почву для того невиданного ранее размаха компьютеризации, которая происходит на наших глазах.

Однако необходимо воздержаться от преувеличенных оценок винеровской кибернетики. Некоторых раздражала рекламная шумиха, созданная вокруг кибернетики не только дельцами, но и некоторыми учеными. Впрочем, дело не только в субъективных оценках. Простое сравнение идей Винера с идеями Тренковского и Богданова показывает, что кибернетика не смогла дойти до рассмотрения действительно сложных систем, что винеровской кибернетике свойствен определенный техницизм, современная разновидность механицизма. В рассмотрении информационных процессов качественная сторона информации принесена в жертву количественной; принцип оптимальности реализуется только в полностью формализованных задачах; при моделировании интеллекта учитывается только логическая компонента мышления. Это действительно так, но все же стремление некоторых специалистов по информатике отмежеваться от винеровской кибернетики выглядит как сверхреакция на ее недостатки. Справедливее рассматривать кибернетику Винера как важный этап в развитии системных представлений, давший ценные идеи и результаты, этап, на котором встретились непреодоленные трудности и обнаружились недостатки самой теории.

ПОПЫТКИ ПОСТРОЕНИЯ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ

Параллельно и как бы независимо от кибернетики прокладывается еще один подход к науке о системах – *общая теория систем*. Идея построения теории, приложимой к системам любой природы, была выдвинута австрийским биологом Л. Бераланфи [14]. Один из путей реализации этой идеи Бераланфи видел в том, чтобы отыскивать структурное сходство законов, установленных в различных дисциплинах, и, обобщая их, выводить общесистемные закономерности. Пожалуй, самым важным достижением Бераланфи является введение понятия *открытой системы*. В отличие от винеровского

подхода, где изучаются внутрисистемные обратные связи, а функционирование систем рассматривается просто как отклик на внешние воздействия, Берталанфи подчеркивает особое значение обмена системы веществом, энергией и информацией (негэнтропией) с окружающей средой. В открытой системе устанавливается динамическое равновесие, которое может быть направлено в сторону усложнения организации (вопреки второму закону термодинамики, благодаря вводу негэнтропии извне), и функционирование является не просто откликом на изменение внешних условий, а сохранением старого или установлением нового подвижного внутреннего равновесия системы. Здесь усматриваются как кибернетические идеи гомеостазиса, так и новые моменты, имеющие свои истоки в биологии. Берталанфи и его последователи работают над тем, чтобы придать общей теории систем формальный характер. Однако заманчивый замысел построить общую теорию систем как новую логико-математическую дисциплину не реализован полностью до сих пор. Не исключено, что наибольшую ценность общей теории систем представит не столько ее математическое оформление, сколько разработка целей и задач системных исследований, развитие методологии анализа систем, установление общесистемных закономерностей.

Современный “прорыв в неизвестное” в исследовании систем совершен бельгийской школой во главе с И.Пригожиным. Развивая термодинамику неравновесных физических систем (за результаты этих исследований Пригожин был удостоен Нобелевской премии 1977 г.), он вскоре понял, что обнаруженные им закономерности относятся к системам любой природы. Наряду с переоткрытием уже известных положений (иерархичность уровней организации систем; несводимость друг к другу и невыводимость друг за друга закономерностей разных уровней организации; наличие наряду с детерминированными случайных процессов на каждом уровне организации и др.) Пригожин предложил новую, оригинальную теорию системодинамики. Отметим, что наибольший интерес и внимание привлекли те ее моменты, которые раскрывают механизм самоорганизации систем. Согласно теории Пригожина [12], материя не является пассивной субстанцией; ей присуща спонтанная активность, вызванная неустойчивостью неравновесных состояний, в которые рано или поздно приходит любая система в результате взаимодействия с окружающей средой. Важно, что в такие переломные моменты (называемые “особыми точками” или “точками бифуркации”) принципиально невозможно предсказать, станет ли система менее организованной или более организованной (“диссипативной”, по терминологии Пригожина).

Заметим, что в данной главе история системного мышления была прослежена лишь до периода возникновения системного анализа. Более поздние события будут описаны в последующих главах, особенно в гл.9.

Подведем итог

Наращивание системности знаний – естественный процесс, происходящий во всех областях человеческой деятельности стихийно (как результат обратной связи через практику, как форма развития). Осознание же системности нашего познания и окружающего мира – это более высокий уровень системности знаний, и оно происходит труднее, медленнее, с

Summary

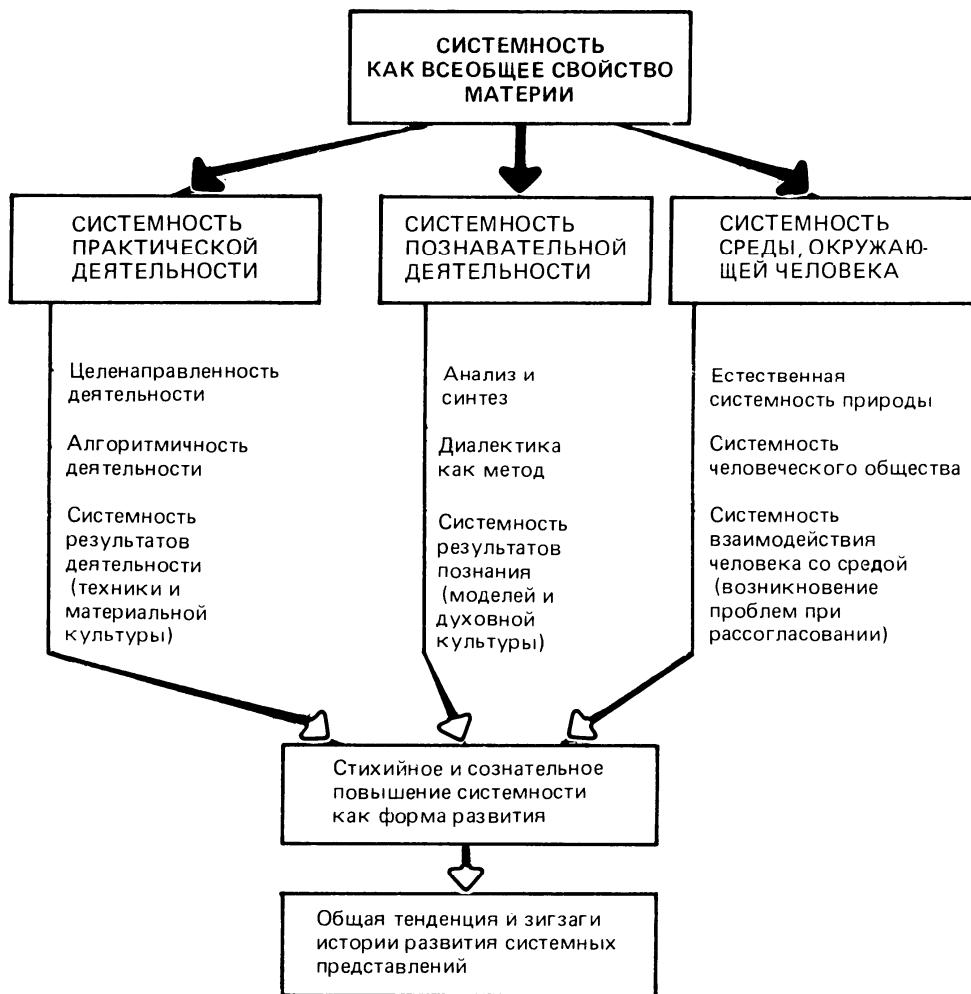
The increasing systematicity of knowledge is a natural process occurs spontaneously in all areas of human activity as a result of feedback via praxis, or as a form of development. But the recognition and conceptualization of the systematic nature of both human cognition and the surrounding world represents a higher level of understanding, and it proceeds more slowly, with the

отставанием, задержками и difficulties, setbacks, and петлянием, свойственными repetitiveness characteristic of процессам блуждания и the investigative process. This is поиска. Это не бесцельное, not an aimless, chaotic activity хаотическое блуждание, а but the search for truth, and while процесс поиска истины, в delays and errors are possible, котором возможны задержки и the substance of this search lies ошибки, но его содержание и not in the errors but in its смысл не в них, а в approach to the truth. продвижении к истине.

Литература

1. *Аверьянов А.Н.* Системное познание мира. – М.: Политиздат, 1985.
2. *Альтишулер Г.С.* Алгоритм изобретения. – М.: Московский рабочий, 1973.
3. ***Богданов А.А.* Всеобщая организационная наука (тектология). В 3 т. М., 1905–1924. Т. 3.**
4. *Бэкон Ф.* Соч. В 2 т. М., 1978. Т. 2.
5. *Винер Н.* Кибернетика. – М.: Сов. радио, 1968.
6. *Винер Н.* Кибернетика и общество. – М.: ИЛ, 1958.
7. *Декарт Р.* Избр. произв. – М., 1950.
8. *Заринов Р.Х.* Машинный поиск вариантов при моделировании творческого процесса. – М.: Наука, 1983.
9. *Кант И.* Соч. В 6 т. М. Т. 3.
10. *Клир Дж.* Системология. – М.: Радио и связь, 1990.
11. *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч. 2-е изд. Т. 20.
12. *Моисеев Н.Н.* Люди и кибернетика. – М.: Молодая гвардия, 1984.
13. ***Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. – М.: Прогресс, 1986.**
Bertalanffy L. An Outline of General Systems Theory. – “British J. for Phil. of Sci”. 1950. Vol. 1. N 2. 134 – 165.

Взаимосвязь тем, рассмотренных в гл.1



Глава вторая МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

§ 2.1. ШИРОКОЕ ТОЛКОВАНИЕ ПОНЯТИЯ МОДЕЛИ

Мы уже отмечали, что осознание объективной системности любой деятельности происходит с большой задержкой, на более поздних этапах стихийного повышения системности. Не является исключением и такая форма человеческой деятельности, как *моделирование*, т.е. построение, использование и совершенствование моделей. Интересно, например, проследить, как развивалось само понятие модели [11].

Первоначально *моделью* называли *некое вспомогательное средство, объект, который в определенной ситуации заменял другой объект*. При этом далеко не сразу была понята универсальность законов природы, всеобщность моделирования, т.е. не просто возможность, но и необходимость представлять любые наши знания в виде моделей. Например, древние философы считали невозможным моделирование естественных процессов, так как, по их представлениям, природные и искусственные процессы подчинялись различным закономерностям. Они полагали, что отобразить природу можно только с помощью логики, методов рассуждений, споров, т.е., по современной терминологии, языковых моделей. Через несколько столетий девизом английского Королевского научного общества стал лозунг “Ничего словами!”, который явился кратчайшим изложением принципов естествознания: признавались только выводы, подкрепленные экспериментально или математическими выкладками. В английском языке до сих пор в понятие “наука” не входят области знания, которым в русском языке соответствует термин “гуманитарные науки”, – они отнесены к категории “искусств”. В результате очень долго понятие “модель” относилось только к материальным объектам специального типа, например манекен (модель человеческой фигуры), гидродинамическая уменьшенная модель плотины, модели судов и самолетов, чучела (модели животных) и т.п.

РАЗВИТИЕ ПОНЯТИЯ МОДЕЛИ

Осмысливание основных особенностей таких моделей привело к разработке многочисленных определений, типичным примером которых служит следующее: *моделью называется некий объект-заместитель, который в определенных условиях может заменять объект-оригинал, воспроизводя интересующие нас свойства и характеристики оригинала, причем имеет существенные преимущества удобства* (наглядность, обозримость, доступность испытаний, легкость оперирования с ним и пр.). Затем были осознаны модельные свойства чертежей, рисунков, карт – реальных объектов искусственного происхождения, воплощающих абстракцию довольно высокого уровня. Следующий шаг заключался в признании того, что моделями могут служить не только реальные объекты, но и абстрактные, идеальные построения. Типичным примером служат математические модели. В результате деятельности математиков, логиков и философов, занимавшихся исследованием оснований математики, была создана *теория моделей*. В ней *модель* определяется как *результат отображения одной абстрактной математической структуры на другую, тоже абстрактную, либо как результат интерпретации структуры в терминах и образах второй*.

В XX в. понятие модели становится все более общим, охватывающим и реальные, и идеальные модели. При этом понятие абстрактной модели вышло за пределы математических моделей, стало относиться к любым знаниям и представлениям о мире. Следует отметить, что споры вокруг такого широкого толкования понятия модели продолжаются и поныне. Рассмотрим аргументы, фигурирующие в таких спорах.

Стоит ли понятие абстрактной модели распространять на такие формы научных знаний, как законы, гипотезы, теории? Сторонники положительного ответа на этот вопрос отмечают, что психологический барьер неприятия объясняется тем, что понятия гипотезы, закономерности, теории сформировались и установились в языке науки и философии значительно раньше, чем понятие модели. Эти понятия, будучи исторически первыми,

воспринимаются и как логически первичные, причем в этой схеме модели отводится роль лишь вспомогательного средства. Однако при этом содержание понятия модели обедняется, неоправданно сужается. Дело в том, что классифицировать гипотезу или теорию как модель вовсе не означает подмену одного понятия другим или отождествление этих, безусловно, разных понятий. Модели могут быть качественно различными, они образуют *иерархию*, в которой модель более высокого уровня (например, теория) содержит модели нижних уровней (скажем, гипотезы) как свои части, элементы. Важно также, что признание идеальных представлений, научных построений, законов в качестве моделей подчеркивает их относительную истинность.

МОДЕЛЬ КАК ФИЛОСОФСКАЯ КАТЕГОРИЯ

Другой вопрос, часто возникающий в спорах: не означает ли такое широкое толкование модели, что это понятие становится применимым ко всему и, следовательно, логически пустым? Этот вопрос дает возможность обсудить некоторые особенности моделей. Во-первых, еще раз отметим иерархичность моделей, поэтому применительно к разным объектам понятие модели может иметь разное содержание. Во-вторых, тот факт, что любой объект может быть использован как модель, вовсе не означает, что он не может быть ничем иным. Например, ботинок также может являться моделью его владельца (скажем, по запаху ботинка сыскная собака отыщет преследуемого; по состоянию ботинка можно судить о некоторых особенностях сложения и даже чертах характера его хозяина), но это не лишает смысла ни понятие “обувь”, ни понятие “модель”. В-третьих, самые общие понятия совсем не являются логически пустыми: материя, движение, энергия, организация, система,..., модель.

Подведем итог

Summary

Сначала в сфере научных дисциплин информационного, кибернетического, системного направления, а затем и в других областях науки модель стала осознаваться как нечто универсальное, хотя и реализуемое различными способами. Модель есть способ существования знаний.

First in the information, cybernetics and systems sciences and later in other areas of science, a model has been conceptualized as something universal, though able to vary in its material substance. A model is a mode of existence of knowledge.

§ 2.2. МОДЕЛИРОВАНИЕ – НЕОТЪЕМЛЕМЫЙ ЭТАП ВСЯКОЙ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Всякий процесс труда есть деятельность, направленная на достижение определенной цели. Рабочий обрабатывает заготовку, которая должна превратиться в деталь. Скульптор обтесывает мраморную глыбу, оставляя в ней то, что станет скульптурой. Земледелец пашет, сеет, собирает урожай, чтобы произвести продукты питания. Спортсмен настойчиво тренируется, чтобы победить в соревновании. Студент учится, чтобы иметь профессию.

Эта идея в обобщенном виде была выражена К. Марксом в “Капитале”:

“В конце процесса труда получается результат, который уже в начале этого процесса имелся в представлении человека, т.е. идеально. Человек не только изменяет форму того, что дано природой; в том, что дано природой, он осуществляет вместе с тем и свою сознательную цель, которая как закон определяет способ и характер его действий” [10, с. 189].

Целевой характер имеет не только трудовая деятельность. Отдых, развлечения, прогулки, игры, физзарядка, чтение, коллекционирование и т.п. обычно не рассматриваются как труд, но их целевой характер очевиден. Поэтому следует говорить о различных видах целесообразной деятельности человека.

Важнейшим, организующим элементом такой деятельности является цель – образ желаемого будущего, т.е. модель состояния, на реализацию которого и направлена деятельность. Однако роль моделирования этим не ограничивается. Системность деятельности проявляется в том, что она осуществляется по определенному плану, или, как мы уже отмечали, по определенному алгоритму. Следовательно, алгоритм – образ будущей деятельности, ее модель.

Как правило, деятельность редко осуществляется по жесткой программе, без учета (точнее – только с априорным учетом) того, что происходит на промежуточных этапах. Чаще приходится оценивать текущий результат предыдущих действий и выбирать следующий шаг из числа возможных. Это означает, что необходимо сравнивать последствия всех возможных шагов, не выполняя их реально, т.е. “проиграть” их на модели.

Таким образом, моделирование является обязательным, неизбежным действием во всякой целесообразной деятельности, пронизывает и организует ее, представляет собой не часть, а аспект этой деятельности.

ЦЕЛЬ КАК МОДЕЛЬ

Из предыдущего обсуждения также видно, что модель является не просто образом – заменителем оригинала, не вообще каким-то отображением, а отображением целевым.

Чтобы подчеркнуть это, представим, какие модели одного и того же бревна используют в своей деятельности разные члены туристской группы, пришедшей к месту новой стоянки: одному поручено оборудовать лагерь, и он прикидывает, использовать ли это бревно для стола или как сиденье; другой отвечает за кострище, а для дров от бревна требуются не геометрические, а совсем другие качества; третьего интересует возраст дерева, и он обследует спил бревна; художник ищет у бревна сук с замысловатым изгибом... Короче говоря, модель отображает не сам по себе объект-оригинал, а то, что в нем нас интересует, т.е. то, что соответствует поставленной цели.

Из того, что модель является целевым отображением, с очевидностью следует множественность моделей одного и того же объекта: для разных целей обычно требуются разные модели. Сама целевая предназначенность моделей позволяет все разнообразное множество моделей разделить на основные типы – по типам целей [17].

ПОЗНАВАТЕЛЬНЫЕ И ПРАГМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Поскольку модели играют чрезвычайно важную роль в организации любой деятельности человека, все виды деятельности удобно разделить по направленности основных потоков информации, циркулирующих между субъектом и окружающим его миром. Разделим модели на **познавательные** и **прагматические**, что соответствует делению целей на теоретические и практические. Хотя это деление (как, впрочем, и всякое другое) относительно и легко привести примеры, когда конкретную модель нелегко однозначно отнести к одному из классов, оно все же не целиком условно и отображает реальные различия.

Проявления этих различий разнообразны, но, пожалуй, наиболее наглядно разница между познавательными и прагматическими моделями проявляется в их отношении к оригиналу в процессе деятельности.

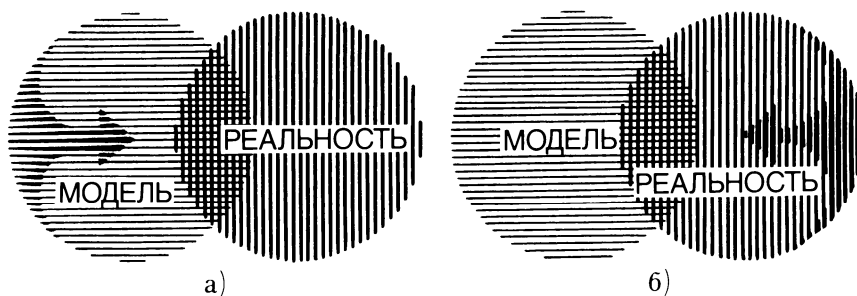
Познавательные модели являются формой организации и представления знаний, средством соединения новых знаний с имеющимися. Поэтому при обнаружении расхождения между моделью и реальностью встает задача устранения этого расхождения с помощью изменения модели.

О способах изменения моделей мы будем говорить позже, а сейчас важно подчеркнуть, что познавательная деятельность ориентирована в основном на *приближение модели к реальности*, которую модель отображает (рис. 2.1, а).

Прагматические модели являются средством управления, средством организации практических действий, способом представления образцово правильных действий или их результата, т.е. являются рабочим представлением целей. Поэтому использование

прагматических моделей состоит в том, чтобы при обнаружении расхождений между моделью и реальностью направить усилия на изменение реальности так, чтобы *приблизить реальность к модели* (рис. 2.1, б). Таким образом, прагматические модели носят нормативный характер, играют роль стандарта, образца, под которые “подгоняются” как сама деятельность, так и ее результат. Примерами прагматических моделей могут служить планы и программы действий, уставы организаций, кодексы законов, алгоритмы, рабочие чертежи и шаблоны, параметры отбора, технологические допуски, экзаменационные требования и т.д.

Другими словами, основное различие между познавательными и прагматическими



2.1 Различие между познавательной и прагматической моделью: а) познавательная модель (модель подгоняется под реальность); б) прагматическая модель (реальность

моделями можно выразить так: *познавательные модели отражают существующее, а прагматические – не существующее, но желаемое и (возможно) осуществимое.*

СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Не следует понимать сказанное как абсолют. Например, возникают сложности с отнесением эстетических моделей (произведений искусства) или моделей медицины либо, например, детских игрушек или карт местности к одному из указанных классов. С другой стороны, прагматические модели так же изменяются, развиваются, как и познавательные, и в их динамике так много общего, что в эти моменты их различие начинает размываться, иногда исчезать.

Другим принципом классификации целей моделирования, другим ответом на вопрос о том, что отображается в модели, может служить деление моделей на статические и динамические. Для одних целей нам может понадобиться модель конкретного состояния объекта, своего рода “моментальная фотография” интересующего нас объекта. Такие модели называются **статическими**. Примером являются структурные модели систем. В тех же случаях, когда наши цели связаны не с одним состоянием, а с различием между состояниями, возникает необходимость в отображении процесса изменений состояния. Такие модели называются **динамическими**; примером их служат функциональные модели систем.

Подведем итог

Summary

Модели имеют целевой характер: один из принципов классификации моделей состоит в соотнесении типов моделей с типами целей; примером такой классификации служит деление моделей на познавательные и прагматические и, кроме того, на статические и

Models are purposeful. One of the principles by which we classify models is based on a difference between purposes. For example, we may classify models as cognitive or pragmatic, or as static or dynamic.

динамические.

§ 2.3. СПОСОБЫ ВОПЛОЩЕНИЯ МОДЕЛЕЙ

Отображение, которым является модель, есть отношение между отображаемым и отображающими объектами. В предыдущем параграфе мы обсудили, какие аспекты объекта-оригинала отображаются в модели. Выяснилось, что на отношение отображения весьма существенным образом влияет (точнее, в этом отношении непосредственно участвует) все, что связано с целью, под которую создается модель. Перейдем теперь к рассмотрению того, на чем осуществляется отображение, т.е. из чего строятся модели.

Так как мы обсуждаем (пока) только модели, сознательно создаваемые человеком, то в его распоряжении имеется два типа материалов для построения моделей – средства самого сознания и средства окружающего материального мира. Соответственно этому модели делятся на **абстрактные (идеальные)** и **материальные (реальные, вещественные)**.

АБСТРАКТНЫЕ МОДЕЛИ И РОЛЬ ЯЗЫКОВ

Абстрактные модели являются идеальными конструкциями, построенными средствами мышления, сознания. Очевидно, что к абстрактным моделям относятся языковые конструкции; однако современные представления о мышлении и сознании утверждают, что языковые модели (т.е. модели, построенные средствами естественного языка) являются своего рода конечной продукцией мышления, уже готовой или почти готовой для передачи другим носителям языка. Установлено, что на более ранних стадиях работы человеческого мозга важную, хотя сейчас во многом неясную, роль играют и неязыковые формы мышления, которые обозначаются терминами “эмоции”, “бессознательное”, “интуиция”, “озарение”, “образное мышление”, “подсознание”, “эвристика” и т.п. Все это, однако, касается механизма мышления, т.е. внутренних моделей нашего мозга. Нас же сейчас интересуют абстрактные модели, предназначенные для общения между людьми. Оставив в стороне иррациональные формы общения (искусство, гипноз, телепатию, сопереживание, мимику и жестикуляцию и пр.), сосредоточим внимание на моделях, создаваемых средствами языка.

На естественном языке мы можем говорить обо всем, он является универсальным средством построения любых абстрактных моделей. Эта универсальность обеспечивается не только возможностью введения в язык новых слов, но и возможностью иерархического построения все более развитых языковых моделей (слово – предложение – текст; понятия – отношения – определения – конструкции...). Универсальность языка достигается, кроме прочего, еще и тем, что языковые модели обладают неоднозначностью, расплывчатостью, размытостью. Это свойство проявляется уже на уровне слов. Многозначность почти каждого слова (см. толковый словарь любого языка) или неопределенность слов (например, “много”, “несколько”) вместе с многовариантностью их возможных соединений во фразы позволяет любую ситуацию отобразить с достаточной для обычных практических целей точностью. Эта приблизительность – неотъемлемое свойство языковых моделей. Человек преодолевает в практике их расплывчатость с помощью “понимания”, “интерпретации” [4]. Иногда эта расплывчатость сознательно используется – в юморе, дипломатии, поэзии; она придает прелесть человеческому общению; в других случаях она мешает выразиться так точно, как хотелось бы (“у меня не хватает слов”, или тютчевское “мысль изреченная есть ложь”).

Рано или поздно практика сталкивает нас с ситуациями, когда приблизительность естественного языка оборачивается недостатком, который необходимо преодолеть на постоянной основе. Такую основу предоставляет выработка “профессионального” языка людьми, связанными общей для них, но частной для всех остальных деятельностью. Например, у северных народов имеется несколько десятков разных слов, обозначающих различные состояния снега; у африканского скотоводческого племени масаев столько разных слов, выражающих различия между коровами, что масай по одному слову может выделить одно животное из огромного стада.

Наиболее ярко это видно на примере языков конкретных наук. Дифференциация наук объективно потребовала создания специализированных языков, более четких и точных, чем естественный. Модели специальных наук более точны, более конкретны, они содержат больше информации. Новые знания аккумулируются в новых моделях, и если старых языковых средств для их построения не хватает, то возникают еще более специализированные языки. В результате приходим к иерархии языков и соответствующей иерархии типов моделей. На верхнем уровне этого спектра находятся модели, создаваемые средствами естественного языка, и так вплоть до моделей, имеющих максимально достижимую определенность и точность для сегодняшнего состояния данной отрасли знаний. Видимо, так и следует понимать известные высказывания Канта и Маркса о том, что любая отрасль знания может тем с большим основанием именоваться наукой, чем в большей степени в ней используется математика. Математические модели обладают абсолютной точностью, но чтобы дойти до их использования в данной области, необходимо получить достаточное для этого количество знаний. Нематематизированность какой-то науки не означает ее “ненаучность”, а есть следствие сложности, недостаточной познанности ее предмета, есть временное явление.

МАТЕРИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ И ВИДЫ ПОДОБИЯ

Перейдем теперь к рассмотрению *материальных (реальных, вещественных)* моделей. Чтобы некоторая материальная конструкция могла быть отображением, т.е. замещала в каком-то отношении оригинал, между оригиналом и моделью должно быть установлено отношение похожести подобия. Существуют разные способы установления такого подобия, что придает моделям особенности, специфичные для каждого способа.

Прежде всего это подобие, устанавливаемое в результате физического взаимодействия (или цепочки физических взаимодействий) в процессе создания модели. Примерами таких отображений являются фотографии, масштабированные модели самолетов, кораблей или гидротехнических сооружений, макеты зданий, куклы, протезы, шаблоны, выкройки и т.п. Назовем такое подобие **прямым**. И прямое подобие может быть иногда лишь отдаленным сходством, но только при прямом подобии возможна трудно обнаружимая взаимозаменяемость модели и оригинала (например, копии произведений искусства, голографические изображения предметов и т.п.) и даже фактическая перемена их местами (натурщик является моделью в работе художника, манекенщица моделирует будущих потребителей одежды, актер является моделью персонажа пьесы). С другой стороны, как бы хороша ни была модель, она все-таки лишь заменитель оригинала, выполняющий эту роль только в определенном отношении. Даже тогда, когда модель прямого подобия осуществлена из того же материала, что и оригинал, т.е. подобна субстратно, возникают проблемы переноса результатов моделирования на оригинал. Рассмотрим, например, испытания уменьшенной модели корабля на гидродинамические качества. Часть условий эксперимента можно привести в соответствие масштабам модели (скорость течения), другая же часть условий (вязкость и плотность воды, сила тяготения, определяющие свойства волн, и т. д.) не может быть масштабирована. Задача пересчета данных модельного эксперимента на реальные условия становится нетривиальной; возникла разветвленная, содержательная теория подобия [19], относящаяся именно к моделям прямого подобия.

Второй тип подобия в отличие от прямого назовем **косвенным**. Косвенное подобие между оригиналом и моделью устанавливается не в результате их физического взаимодействия, а объективно существует в природе, обнаруживается в виде совпадения или достаточной близости их абстрактных моделей и после этого используется в практике реального моделирования. Наиболее известным примером этого является электромеханическая аналогия. Оказалось, что некоторые закономерности электрических и механических процессов описываются одинаковыми уравнениями; различие состоит лишь в разной физической интерпретации переменных, входящих в эти уравнения. В результате оказывается возможным не только заменить неудобное и громоздкое

экспериментирование с механической конструкцией на простые опыты с электрической схемой, перепробовать множество вариантов, не переделывая конструкцию, но и “проиграть” на модели варианты, в механике пока неосуществимые (например, с произвольным и непрерывным изменением масс, длин и т.д.). Роль моделей, обладающих косвенным подобием оригиналу, очень велика. Часы – аналог времени; подопытные животные у медиков – аналоги человеческого организма; автопилот – аналог летчика; электрический ток в подходящих цепях может моделировать транспортные потоки информации в сетях связи, течение воды в городской водопроводной сети; аналоговые вычислительные машины позволяют найти решение почти всякого дифференциального уравнения, представляя собой таким образом модель, аналог процесса, описываемого этим уравнением.

Особенности аналогий, ограничения на перенос результатов, полученных моделированием, на сам оригинал оживленно обсуждались в период дискуссий о кибернетике (см., например, [7; 23]). Мы еще вернемся к вопросу о силе аналогий, а пока отметим, что роль аналогий (моделей косвенного подобия) в науке, технике, практике вряд ли можно переоценить: они просто незаменимы, альтернативой модели может быть только другая модель*.

Третий, особый класс реальных моделей образуют модели, подобие которых оригиналу не является ни прямым, ни косвенным, а устанавливается в результате соглашения. Назовем такое подобие **условным**. Примерами условного подобия служат деньги (модель стоимости), удостоверения личности (официальная модель владельца), всевозможные и разнообразные сигналы (модели сообщений), рабочие чертежи (модели будущей продукции), карты (модели местности) и т.д.

С моделями условного подобия приходится иметь дело очень часто, поскольку они являются способом материального воплощения абстрактных моделей, вещественной формой, в которой абстрактные модели могут передаваться от одного человека к другому, храниться до (иногда очень отдаленного) момента их использования, т.е. отчуждаться от сознания и все-таки сохранять возможность возвращения в абстрактную форму. Это достигается с помощью соглашения о том, какое состояние реального объекта ставится в соответствие данному элементу абстрактной модели. Такое соглашение принимает вид совокупности правил построения моделей условного подобия и правил пользования ими.

ЗНАКОВЫЕ МОДЕЛИ И СИГНАЛЫ

Эта общая схема конкретизируется и углубляется в ряде конкретных наук, в которых используются или непосредственно изучаются модели условного подобия. Например, теория связи, теория информации, радиотехника, теория управления и ряд других наук имеют дело со специфическими моделями условного подобия, которые применяются в технических устройствах без участия человека; они получили название сигналов. В этих науках правила построения и способы использования сигналов, названные *кодом*, *кодированием* и *декодированием*, сами стали предметом углубленных исследований (например, возникла очень развитая теория кодирования).

С иных позиций рассматриваются модели условного подобия в науках, изучающих создание и использование этих моделей самим человеком. У предназначенных для этого моделей имеется своя специфика, позволяющая дать им специальное название – **знаки** – и требующая специальных методов для ее исследования. Возникшая в связи с этим область знаний получила название *семиотики* (от греч. “знак”). Семиотика изучает знаки не в отдельности, а как входящие в знаковые системы, в которых выделено три основных группы отношений:

синтаксис (греч. “построение, порядок”), т.е. отношения между различными знаками, позволяющие отличать их и строить из них знаковые конструкции все более высокой сложности;

* Роль аналогий между абстрактными моделями подробно рассматривается в [13].

семантика (греч. “обозначение”), т. е. отношения между знаками и тем, что они обозначают, или вложенный, изначальный смысл знаков;

прагматика (греч. “дело, действие”), т. е. отношения между знаками и теми, кто их использует в своей деятельности, или понятый, воспринятый смысл знаков.

Существуют и другие многочисленные аспекты исследования моделей условного подобия (языкознание, картография, криптография, графология, техническое черчение, нумизматика, информатика, литературоведение и т.д.).

Не вдаваясь в другие подробности, отметим в заключение, что хотя условное подобие в принципе не требует фактического сходства, но оно должно строиться с учетом особенностей человека – создателя и потребителя моделей условного подобия. В разных множествах реальных объектов мы будем искать “сырье” для знаковых моделей, предназначенных для слепых, глухонемых и обычных людей. Выбор символики для обозначения цифр только на первый взгляд кажется произвольным: в практике вычислений арабская символика в конце концов вытеснила римскую из-за существенного различия в удобстве ручного выполнения операций над знаками чисел. На ЭВМ двоичная символика вытеснила арабскую по подобным соображениям. Такие примеры можно множить.

Подведем итог

Summary

Можно строить модели в воображении, идеально, средствами мышления – такие модели называются абстрактными, а можно создавать модели из реальных объектов и процессов – такие модели называют реальными, вещественными, иногда физическими. В некотором смысле промежуточное, посредническое положение занимают реальные модели, имеющие абстрактное содержание, – знаковые модели.

One can build models ideally in one's imagination simply by thinking. We can call such models abstract. One can build models using real objects and processes. Such models are called real, material, substantial, and sometimes physical. Sign models which are material but have an abstract meaning, have, in a sense, an intermediate nature.

§ 2.4. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ СВОЙСТВ МОДЕЛЕЙ

Для того чтобы модель отвечала своему назначению, недостаточно взять готовую модель или создать новую; необходимо, чтобы существовали условия, обеспечивающие ее функционирование. Отсутствие (или недостаточность) таких условий лишает модель ее модельных свойств, т.е. переводит модель в качественно иное состояние нераскрытости ее потенциальных возможностей.

Приведем примеры, иллюстрирующие эту особенность моделей. Бумажные денежные знаки могут играть роль модели стоимости только до тех пор, пока в среде их обращения существуют правовые нормы и финансовые учреждения, поддерживающие функционирование денег: царские ассигнации и “керенки”, может быть, и имеют сейчас некоторую историческую ценность, но уже не как деньги. Древнеегипетские иероглифические надписи не могли быть прочитаны, пока не был найден знаменитый розеттский камень с одинаковым текстом на забытом древнеегипетском языке и на сохранившемся в памяти специалистов древнегреческом языке: можно расшифровать сигнал только зная его код. В истории известны прекрасные идеи, “обогнавшие свое время”, т.е. не соответствовавшие общественному уровню знания и технологии, своего времени и потому не воспринятые обществом: вспомним вертолет Леонардо да Винчи

(XV в.), кибернетику Трентовского (1848), универсальную вычислительную машину Бэббиджа (1883) или шутивную историю янки при дворе короля Артура, придуманную Марком Твенем. Зато идеи (т.е. абстрактные модели), попадающие в благоприятную общественную среду, “овладевшие массами, – по выражению К. Маркса, – становятся материальной силой”. Еще один яркий пример отмеченной особенности дает программа для ЭВМ – машинная модель алгоритма: программисты знают, что малейшее рассогласование в ней с языком машины полностью обесценивает программу.

Итак, для реализации своих модельных функций необходимо, чтобы модель была согласована с культурной средой, в которой ей предстоит функционировать, входила в эту среду не как чуждый ей элемент, а как ее естественная часть.

Такое свойство *согласованности с культурной средой* столь важно и характерно для модели, что стоило бы связать с ним специальный термин. Может быть, приживется термин *ингерентность*: во-первых, он происходит от английского *inherent* – внутренний, собственный (чему-то), накрепко связанный (с чем-то), существующий как неотъемлемая часть (чего-то), что хорошо отвечает смыслу того, что мы хотим обозначить этим термином; во-вторых, он перекликается и по происхождению, и по звучанию, и по смыслу с уже прижившимся в русском языке термином “когерентность”. Чтобы прижиться, новый термин должен стать ингерентным языку; будущее покажет, произойдет ли это.

Это очень общее свойство моделей можно при необходимости рассматривать и с более конкретных, частных позиций, выделяя конкретные аспекты согласованности модели со средой. Например, чрезвычайно важным аспектом такой согласованности (ингерентности) является обеспеченность функционирования модели ресурсами. Рассмотрение этого аспекта дает возможность четкого различия между теми системами, которые можно назвать “большими”, и теми, которые можно назвать “сложными”. Отложим обсуждение классификации систем (см. § 4.3): мы пока еще не дали самого определения системы, но все же обратим особое внимание на то, что для функционирования модели нужны ресурсы, в том числе и материальные, даже если модель абстрактна. Особый аспект необходимости согласованности модели со средой состоит в обеспечении операционности модели, т.е. ее работы, реализации самого процесса моделирования. Это означает, что в модели должны быть предусмотрены не только “стыковочные узлы” (интерфейсы) со средой, но и в самой среде должны быть реализованы подсистемы, другие модели и алгоритмы, обеспечивающие, поддерживающие функционирование модели, использующие результаты ее функционирования, управляющие ходом процесса моделирования: не только модель должна приспосабливаться к среде, но и среда к модели.

Подведем итог

Summary

Понятие модели снова	In this section we have broadened
расширилось; как выражаются	the concept of a model: as
математики,	mathematicians say, a model
оказывается “многочастным	turns out to be “a many – placed
отношением”. Это означает,	relation”. This means that the
что понятие модели относится	concept of a model contains not
не просто к объекту, который	only an object called “a model”: it
мы так называем; оно включает	also encompasses (in certain
(в определенных отношениях):	relations) a subject who organizes
субъекта, организующего	the modeling; a problem for
моделирование, и задачу, ради	which sake the modeling is
которой	performed; a modeled object; the
моделирование (обоих – через	means by which modeling is
цель);	effected; and, finally, an
который	environment in which the model

средства, из которых создается will function.
модель; а теперь и среду, в
которой модель должна
функционировать.

§ 2.5. СООТВЕТСТВИЕ МЕЖДУ МОДЕЛЬЮ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ: РАЗЛИЧИЯ

В предыдущих параграфах мы рассмотрели вопросы о том, что отображает модель, из чего и как она может быть построена, каковы внешние условия актуализации (осуществления функций) модели. Теперь необходимо рассмотреть те качества моделей, которые определяют ценность самого моделирования, т.е. отношение моделей с отображаемой ими реальностью: чем отличаются модели и моделируемые объекты или явления, в каком смысле и до какой степени можно отождествлять модель с оригиналом. Обсудим главные различия между моделью и действительностью: конечность, упрощенность и приближенность модели.

КОНЕЧНОСТЬ МОДЕЛЕЙ

Начнем обсуждение с *конечности моделей*. Мир, частью которого мы являемся, бесконечен, как бесконечен и любой объект, не только в пространстве и времени, но и в своих связях с другими объектами, и в том, что к любому числу отношений, в которых мы рассматривали данный объект, всегда можно добавить еще одно. И мы сами, как и все природные объекты, также бесконечны. Однако если иметь в виду не любые наши качества (скажем, химический состав тканей, строение кровяных телец, структуру глаза, волоса или зуба и т.д.), а лишь те, которые отличают нас от других объектов, в том числе и живых (а к таким качествам прежде всего относятся мышление и труд), то, к сожалению, здесь возможности природы ограничены, конечны. Прежде всего ограничены наши собственные ресурсы – число нервных клеток мозга, число действий, которые мы можем выполнить в единицу времени, да и само время, которое мы можем затратить для решения какой-то задачи, – максимум вся сознательная жизнь. Ограничены и внешние ресурсы, которые мы можем вовлечь в конкретный процесс практической или теоретической деятельности (даже физики, строящие грандиозные радиотелескопы или синхрофазотроны, жалуются на недостаточность отпускаемых им ресурсов).

Возникает явное противоречие: необходимо познавать бесконечный мир конечными средствами. Как ни странно, но это оказывается возможным – такова человеческая практика. Способ преодоления этого противоречия состоит в построении моделей. Так, Розенблюм и Винер отмечали:

“Частные модели, при всех их несовершенствах, – единственное средство, выработанное наукой для понимания мира. Из этого положения не вытекает пораженческой установки. В нем признается только, что главное орудие науки – человеческий разум, а этот разум конечен” [18].

Прежде чем пытаться ответить на интригующий вопрос, каким образом бесконечное удастся отображать конечными моделями, завершим обсуждение самой конечности моделей. Если конечность абстрактных моделей бесспорна (они сразу наделяются строго фиксированным числом свойств), то реальные модели – это ведь некоторые вещественные объекты, а как всякие объекты, они бесконечны. Здесь-то и сказывается различие между самим объектом и тем же объектом, используемым в качестве модели другого объекта. Из необозримого множества свойств объекта-модели выбираются и используются лишь некоторые свойства, подобные интересующим нас свойствам объекта-оригинала. Особенно наглядна конечность (в этом смысле) знаковых моделей: цветок в окне явочной квартиры Штирлица означал провал явки; ясно, что многочисленные свойства цветка, изучаемые ботаникой, физиологией растений, цветоводством, искусством и икебаной, не имели прямого отношения к знаковой функции цветка. Модель подобна оригиналу в конечном числе отношений – это один аспект конечности реальных моделей.

Другой аспект возникает в связи с реальными моделями, обладающими свойством непрерывности: ведь непрерывность – одно из проявлений бесконечности. Видимо, можно говорить о конечности моделей и в этом случае, если считать, что непрерывность – это свойство природы, а не модели. В абстракции же понятие непрерывности получается в результате рассмотрения дискретной совокупности последовательных состояний. Кроме того, после открытия атомарности вещества, пространства, действия (а теперь исследуется вопрос о возможной дискретности и времени) можно усомниться в реальности непрерывности: не является ли она только удобной, экономной абстракцией. Например, для непрерывных сред мы ввели понятие плотности, но это понятие теряет смысл, если объем взять очень малым (охватывающим несколько молекул) или очень большим (скажем, размера Солнечной системы): в реальности нет непрерывных сред, это просто удобная абстрактная модель.

Однако не следует понимать сказанное так, будто понятию непрерывности или плотности на самом деле ничто не соответствует в реальности. Эти понятия отображают определенные свойства окружающей нас реальности, но проявляться (и вообще существовать) эти свойства могут лишь при определенных условиях. С другой стороны, не всякое понятие отображает нечто осязаемое, непосредственно существующее; абстракция может быть “многоэтажной”, иерархической; можно говорить не только о модели чего-то реального, но и о модели моделей, и число таких ступеней ограничено, по-видимому, только практической надобностью.

Перейдем теперь к рассмотрению тех факторов, которые позволяют с помощью конечных моделей отображать бесконечную действительность, и не просто отображать, а отображать эффективно, т.е. достаточно правильно.

УПРОЩЕННОСТЬ МОДЕЛЕЙ

Первый фактор – это *упрощенность моделей*. Прежде всего отметим, что *сама конечность моделей делает их упрощенность неизбежной*, но, как мы впоследствии увидим, это ограничение не настолько сильно, как этого можно было ожидать (иерархичность моделей обладает потенциальной практической неограниченностью). Далее, гораздо более важным является то, что в человеческой практике упрощенность моделей является допустимой. К счастью, для любой цели оказывается вполне достаточным неполное, упрощенное отображение действительности. Более того, для конкретных целей такое упрощение является даже необходимым (а не только достаточным).

Вот как описывал В.И. Ленин эту необходимость на примере формирования модели движения:

“Мы не можем представить, выразить, смерить, изобразить движения, не прервав непрерывного, не упростив, угрубив, не разделив, не омертвив живого. Изображение движения мыслью есть всегда огрубление, омертвление, – и не только мыслью, но и ощущением, и не только движения, но и **всякого** понятия” [9, с. 233].

Еще один наглядный пример этого приводит Б. Рассел:

“Допустим, что вашего друга зовут м-р Джонс. Его очертания с физической точки зрения довольно неопределенны как потому, что он непрерывно теряет и приобретает электроны, так и потому, что каждый электрон (...) не имеет резкой границы (...). Поэтому внешние очертания м-ра Джонса имеют в себе нечто прозрачно-неосязаемое, что никак не ассоциируется с видимой плотностью вашего друга. Нет никакой необходимости вдаваться в тонкости теоретической физики для того, чтобы показать, что м-р Джонс есть некая печальная неопределенность. Когда он стрижет ногти, то в этом процессе есть определенный, хотя и короткий, период времени, когда нельзя сказать продолжают ли еще обрезки его ногтей быть частью его самого или уже нет. Когда он ест баранью котлету, то можно ли с точностью установить момент, когда котлета становится частью его самого? Когда он выдыхает углекислый газ, то является ли этот последний частью его самого,

пока не выйдет из его ноздрей? (...) Так или иначе, все же становится неясным, что еще является частью м-ра Джонса, а что не является” [16, с. 95].

Что именно из свойств такого объекта, как мистер Джонс, включать в его модель, а что – нет, зависит от целей моделирования; однако выбор цели определит, что можно и что нужно отбросить, в каком направлении упрощать модель по сравнению с отображаемым оригиналом. Упрощение является сильным средством для выявления главных эффектов в исследуемом явлении: это видно на примере таких моделей физики, как идеальный газ, непоглощающее зеркало, абсолютно черное тело, математический маятник, пружина без массы, конденсатор без утечки, абсолютно твердый рычаг и т.д.

Следующая причина вынужденного упрощения модели связана с *необходимостью оперирования с ней*. За неимением методов решения нелинейного уравнения мы его линеаризуем; в других случаях искусственно уменьшаем размерность, заменяем переменные величины постоянными, случайные – детерминированными и т.д. Ресурсное, навязанное происхождение таких упрощений иллюстрируется тем, что по мере распространения ЭВМ и с развитием численных методов эти упрощения ликвидируются, что дает существенное продвижение в исследовании явлений и даже приводит к открытиям.

Есть и еще один, довольно загадочный, аспект упрощенности моделей. Почему-то оказывается так, что из двух моделей, одинаково хорошо описывающих данное явление, та, которая проще, оказывается ближе к истинной природе отображаемого явления. В истории науки имеется немало замечательных примеров этого, и, возможно, самый яркий из них – переход от геоцентрической модели Птолемея к гелиоцентрической модели Коперника. Ведь и геоцентрическая модель позволяла с нужной точностью рассчитать движения планет, предсказать затмения Солнца – хотя и по очень громоздким формулам, с переплетением многочисленных “циклов”. Этот пример выявляет разницу между эффективностью и правильностью (истинностью) моделей. У физиков имеется неформальный, эвристический критерий: если уравнение “красивое”, то оно, скорее всего, правильное – эстетическая оценка простоты и истинности модели. Можно предположить, что простота правильных моделей отражает некое глубинное свойство природы, и, видимо, именно это имел в виду И. Ньютон, говоря, что природа проста и не изливается причинами вещей, или древние схоласты, которые подметили эвристически, что простота – печать истины.

Итак, упрощенность моделей основана как на свойствах мышления, ресурсов моделирования, так и на свойствах самой природы.

ПРИБЛИЖЕННОСТЬ МОДЕЛЕЙ

Второй фактор, позволяющий преодолевать бесконечность мира в конечном познании, – это *приближенность (приблизительность) отображения действительности с помощью моделей*. Конечность и упрощенность моделей также можно интерпретировать как приближенность (пример расплывчатости терминов естественного языка), но мы хотим разделить качественные различия между оригиналом и моделью (их и будем связывать с конечностью и упрощением) и такие их различия, которые допускают количественное (“больше – меньше”) или хотя бы ранговое (“лучше – хуже”) сравнение: этот аспект и свяжем с термином “приближенность”.

Приближенность модели может быть очень высокой (так, некоторые подделки произведений искусства даже эксперты не могут отличить от оригинала; сильное впечатление производят голографические фотографии предметов; у английского фельдмаршала Монтгомери во время войны был двойник, появление которого на разных участках фронта намеренно дезинформировало разведку немцев, и т.д.), в других случаях приближенность модели видна сразу и может варьироваться (например, карты местности в разных масштабах); но во всех случаях модель – это другой объект, и различия неизбежны (единственной совершенно точной картой страны является сама эта страна).

Различие само по себе не может быть ни большим, ни малым: само по себе оно либо есть, либо его нет. Величину, меру, степень приемлемости различия мы можем ввести только соотнеся его с целью моделирования. Скажем, точность наручных часов, вполне достаточная для бытовых целей, совершенно недостаточна при регистрации спортивных рекордов или для целей астрономии.

АДЕКВАТНОСТЬ МОДЕЛЕЙ

Модель, с помощью которой успешно достигается поставленная цель, будем называть **адекватной** этой цели. Подчеркнем, что введенное таким образом понимание адекватности не полностью совпадает с требованиями полноты, точности и правильности (истинности): *адекватность означает, что эти требования выполнены не вообще (так сказать, безмерно), а лишь в той мере, которая достаточна для достижения цели.* Как уже отмечалось, геоцентрическая модель Птолемея была неправильной, но адекватной в смысле точности описания движения планет. Следует добавить, что эта модель не была лишена истинности вовсе: ведь и Солнце, и планеты действительно движутся относительно Земли. В противоположность этому христианская модель поведения “Десять заповедей” адекватна по отношению к целям морали (чем и можно объяснить ее живучесть), но не обладает истинностью своего якобы божественного происхождения. Шаман, объясняющий свое успешное врачевание силами духов, также предлагает адекватную, но ложную модель.

В ряде случаев удается ввести некоторую меру адекватности модели, т.е. указать способ сравнения двух моделей по степени успешности достижения цели с их помощью. Если к тому же такой способ приводит к количественно выражаемой мере адекватности, то задача улучшения модели существенно облегчается. Именно в таких случаях можно количественно ставить вопросы об идентификации модели (т.е. о нахождении в заданном классе моделей наиболее адекватной), об исследовании чувствительности и устойчивости моделей (т.е. о зависимости меры адекватности модели от ее точности), об адаптации моделей (т.е. подстройке параметров модели с целью повышения адекватности) и т.п.

Подведем итог

Summary

Различие между моделью и оригиналом вызвано тем, что мы можем отображать реальность лишь в конечном числе отношений, конечными средствами; в результате упрощение и приближенность модели необходимы и неизбежны; но замечательное свойство мира и нас самих состоит в том, что этого достаточно для человеческой практики.

The difference between a model and its origin stems from the fact that we are able to represent reality only in a finite number of relations and with finite resources. As a result, the simplification and approximate ness of models are necessary and unavoidable; but an amazing property of the world and ourselves is that this is enough for human activity.

§ 2.6. СООТВЕТСТВИЕ МЕЖДУ МОДЕЛЬЮ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ: СХОДСТВО

В предыдущем параграфе мы обсуждали соответствие между моделью и оригиналом с позиций различия между ними. Рассмотрим теперь более трудный вопрос – о сходстве между ними. Поскольку различия между моделью и реальностью принципиально неизбежны и неустранимы, существует предел истинности, правильности наших знаний, сконцентрированных в моделях. Является ли этот предел вечным, принципиально неотодвигаемым или имеется возможность неограниченно увеличивать сходство наших моделей с реальностью? Или, говоря философским языком, доступна ли объективная истина субъективному познанию?

Различные философские учения отвечали на этот вопрос по-разному. Субъективные идеалисты вообще отрицали наличие какой-либо реальности вне сознания субъекта либо считали ее продуктом сознания. Античные софисты считали и саму реальность, и всякое знание о внешней реальности относительными, субъективными и индивидуальными; разные мнения об одном, принадлежащие разным субъектам, считались одинаково истинными (“что кому как является, так оно и есть для того, кому является”). Агностики признавали ощущения единственной реальностью и потому считали, что познанию доступны лишь явления, а сущности и закономерности реального мира принципиально непознаваемы. Диалектический материализм освещает этот вопрос в плане отношений между относительной истиной, т.е. объективным, но не полным содержанием сегодняшнего человеческого познания, и истиной абсолютной: истина относительная может пополняться, развиваться, приближаясь к истине абсолютной, и принципиального предела этому приближению не существует. Степень правильности относительных истин, наличие в моделях элементов, не обладающих истинностью, обнаруживаются в практике человеческого общества.

ИСТИННОСТЬ МОДЕЛЕЙ

Весь исторический опыт науки, техники, общественной практики подтверждает верность диалектико-материалистической теории познания. Например, в современной теории тепловых процессов многое сохранилось со времен С. Карно, но от модели теплорода как особой субстанции – носителя тепла пришлось отказаться; в основе современной электродинамики лежат уравнения Максвелла, но от механической максвелловской модели эфира до современных представлений о физическом вакууме – огромная дистанция [12].

Рассмотрение проблемы истинности знаний с философских позиций требует глубокого и всестороннего анализа многих аспектов даже на примере одной науки (так, о физике см. [21]). Наша задача гораздо конкретнее: обратить внимание на сочетание истинного и предполагаемого (могущего быть как верным, так и неправильным) во всех моделях.

Еще раз подчеркнем, что об истинности, правильности или ложности модели самой по себе говорить бессмысленно: только в практическом соотнесении модели с отображаемой ею натурой выявляется степень истинности. При этом изменение условий, в которых ведется сравнение, весьма существенно влияет на его результат: именно из-за этого возможно существование двух противоречивых, но “одинаково” истинных моделей одного объекта. Яркий пример этого – волновая и корпускулярная модели света или электрона; эти модели различны, противоположны и истинны, каждая в своих условиях. Важно отметить, что каждая модель явно или неявно содержит условия своей истинности, и одна из опасностей практики моделирования состоит в применении модели без проверки выполнения этих условий. В инженерной практике такая ситуация встречается чаще, чем принято думать. Например, для определения пропускной способности различных каналов связи нередко используют формулу Шэннона – Таллера, хотя она верна только для конкретных (гауссовых) каналов. Для обработки экспериментальных данных часто употребляют статистические процедуры, не проверяя условий их применимости (скажем, нормальности или независимости). Иногда это делается вынужденно (не всякое условие бывает возможным проверить), но тогда и к полученным результатам должно быть осторожное, условное отношение, что, к сожалению, не всегда имеет место. Такие ситуации выдвинули перед исследователями специальную проблему – создание моделей, применимость которых сохраняется в некотором диапазоне условий; например, в математической статистике этому соответствуют непараметрические и робастные процедуры обработки данных в теории управления и прикладной математике – исследование устойчивости моделей и регуляризация алгоритмов и т. п.

СОЧЕТАНИЕ ИСТИННОГО И ЛОЖНОГО В МОДЕЛИ

Еще один важный аспект соотношения истинного (т.е. определенно известного и правильного) с предполагаемым (т.е. возможным, но не обязательно действительным) при

построении моделей состоит в том, что ошибки в предположениях имеют разные последствия для прагматических и познавательных целей. Если ошибки в предположениях вредны и даже губительны при использовании прагматических моделей, то при создании познавательных моделей поисковые предположения, истинность которых еще предстоит проверить, – единственный способ оторваться от фактов. Роль гипотез в науке настолько важна, что образно можно сказать, что вся научная работа состоит в выдвижении и проверке гипотез. А. Эйнштейн писал:

“Воображение важнее знания, ибо знание ограничено. Воображение же охватывает все на свете, стимулирует прогресс и является источником его эволюции”.

Среди других аспектов проблемы правильности моделей, истинности знаний для целей системного анализа важен аспект явной рефлексии уровня истинности: что известно точно, достоверно; что – с оцениваемой степенью неопределенности (например, с известной вероятностью для стохастических моделей или с известной функцией принадлежности для расплывчатого описания); что – с неопределенностью, не поддающейся оценке; что может считаться достоверным только при выполнении определенных условий; наконец – что известно о том, что неизвестно.

Подведем итог

Главная ценность моделей как формы знаний состоит в том, что они содержат объективную истину, т.е. в чем-то правильно отображают моделируемое. Однако кроме безусловно истинного содержания в модели имеется и условно-истинное (т.е. верное лишь при определенных условиях), и предположительно-истинное (т.е. условно-истинное при неизвестных условиях), а следовательно, и ложное. При этом в каждом конкретном случае неизвестно, насколько точно, насколько фактическое соотношение истинного и ложного в данной модели.

Ответ на этот вопрос дает только практика. Однако в любом случае модель принципиально беднее оригинала, это ее фундаментальное свойство.

Summary

The main virtue of models as a representation of knowledge is that they contain an objective truth; i.e., they correctly represent modeled objects in certain respects. But besides a definitely correct content, each model contains a conditionally correct (i.e., true only under certain conditions) and a wrong content. In any given circumstance the real proportions between correct and erroneous content in a given model are not fully known. Only practice can give an answer to this. But in any case a model is principally poorer than the original; this is its fundamental property.

§ 2.7. О ДИНАМИКЕ МОДЕЛЕЙ

Как и все в мире, модели проходят свой жизненный цикл: они возникают, развиваются, сотрудничают или соперничают с другими моделями, уступают место более совершенным. Одни модели живут дольше отдельных людей, и тогда этапы жизненного цикла моделей изучаются в виде истории той или иной отрасли знаний или деятельности (например, истории физики, истории авиации, истории гончарного искусства и т.д.). Жизненный цикл других моделей должен быть обязательно завершен в обозримый срок, и тогда перевод модели от этапа к этапу становится технологическим действием, должен

выполняться как можно эффективнее (быстрее, лучше, дешевле). Как мы уже знаем, это невозможно без моделирования самого процесса моделирования, т.е. алгоритмизации моделирования.

Наиболее полно необходимость алгоритмизации моделирования осознана там, где проблема эффективности действия стоит особенно остро: в проектной деятельности [5], в исследовании операций [3], в изобретательском поиске [2], в создании АСУ [14], в имитационном моделировании [22].

Остановимся на важнейших причинах и закономерностях динамики моделей. Прежде всего очевидно, что процесс моделирования структурирован, организован, состоит из последовательности этапов. Этапы отличаются качественно, конкретными целями и средствами и должны выполняться в определенной очередности. Например, при конструировании новой технической системы ее модель развивается от воплощения в виде результатов предыдущей научно-исследовательской работы по стадиям технического задания, технического проекта, рабочего проекта, опытного образца, мелкой серии до модели, предназначенной для промышленного выпуска. Другой пример дают рекомендации по последовательности этапов имитационного моделирования: формирование целей моделирования – построение абстрактной модели – создание имитационной реальной модели – ее исследование – обработка и интерпретация результатов.

СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Стремление к совершенству требует алгоритмизации, и для многих исследователей исходным стремлением было найти наиболее эффективную последовательность этапов в работе с моделями. Однако здесь обнаружилось, что в практике моделирования чаще всего не удается строго выдержать рекомендуемую последовательность действий. Более того, стало очевидным, что вообще не существует какого-то единого, пригодного для всех случаев алгоритма работы с моделями. Это вызвано разными причинами.

Во-первых, как мы знаем (см. § 2.4), модель функционирует в культурной среде, и конкретное окружение каждой модели может настолько отличаться, что опыт работы с одной моделью не может без изменений переноситься на другую.

Во-вторых, требования, предъявляемые к модели, противоречивы: полнота модели противоречит ее простоте, точность модели – ее размерности, эффективность – затратам на реализацию. Многое в истории данной модели зависит от того, какой именно компромисс выбран между этими противоречащими критериями.

В-третьих, с самого начала невозможно предусмотреть все детали того, что произойдет в будущем с любой моделью. Моделирование призвано устранить неопределенность, но существует неопределенность и в том, что именно надо устранять. Начальные цели впоследствии могут оказываться неполными. Например, по результатам испытаний опытного образца часто приходится вносить изменения в техническое задание и снова возвращаться к этапам проектирования образца. Приведем другой пример: после интерпретации результатов имитационного моделирования цели уточняются, в модель вносятся изменения и моделирование повторяется. Недостатки модели проще и легче обнаружить и исправить в ходе моделирования, чем предусмотреть их заранее. Это еще одна причина динамичности моделей.

Однако среди всех причин невозможности полной алгоритмизации процесса моделирования особо выделяются еще две, последние по счету, но не по важности. Они различаются тем, насколько большой вес придается роли отдельного человека в развитии модели.

Желая выявить алгоритм моделирования, естественно обратиться к инженерной и научной практике: ведь именно в этих видах деятельности наиболее сильно выражено стремление к формализации, точности, определенности. Появляется надежда на обнаружение закономерностей моделирования при наблюдении работы инженеров и ученых над созданием моделей. Оказалось, что даже в этой области

“любой набор правил для разработки моделей в лучшем случае имеет ограниченную полезность и может служить лишь предположительно в качестве каркаса будущей модели или отправного пункта в ее построении” [22, с. 33].

Более того, даже в чистой математике разработка моделей невозможна без эвристического, творческого, неформального начала [1]. К. Жаблон и К. Симон анализируют эту ситуацию следующим образом:

“Как же тогда можно убедиться, что та или иная реальная задача может быть простым способом смоделирована? Только если найдена простая модель! Этот ответ не шутка. Теория разрешимости Геделя и Клини дает такой результат: не существует универсальной программы, которая при рассмотрении реальной задачи могла бы решить, существует ли подходящая модель, и которая могла бы ее построить” [6].

Обсуждение вопроса о соотношении формальных и эвристических приемов в процессе построения моделей завершим словами Р. Шэннона:

“Искусством моделирования могут овладеть те, кто обладает оригинальным мышлением, изобретательностью и находчивостью, равно как и глубокими знаниями систем и физических явлений, которые необходимо моделировать. Не существует твердых и эффективных правил относительно того, как надо формулировать задачу в самом начале процесса моделирования, т.е. сразу же после первого знакомства с ней. Не существует и магических формул для решения при построении модели таких вопросов, как выбор переменных, и параметров, соотношений, описывающих поведение системы, и ограничений, а также критериев оценки эффективности модели. Помните, что никто не решает задачу в чистом виде, каждый оперирует с моделью, которую он построил, исходя из поставленной задачи. Все эти соображения должны помочь читателю правильно разобраться в особенностях моделей и в некоторых вопросах искусства моделирования” [22, с. 35].

Итак, говоря о том, как отдельные люди осуществляют построение моделей, мы должны признать, что в этом процессе кроме осознанных формализованных, технических и научных приемов огромную, решающую роль играет то, что мы называем творчеством, интуитивным искусством. В этом одна из главных причин невозможности полной формализации процесса моделирования.

ЕСТЕСТВЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ МОДЕЛЕЙ

Еще с одним аспектом этой невозможности мы сталкиваемся тогда, когда моделирование осуществляется не отдельным индивидуумом, а коллективно, не осознанно, а как бы стихийно, естественным эволюционным путем. Проявлением такого способа моделирования является фольклор. Другие примеры дают мозговой штурм и синектика (о которых мы еще будем говорить в § 9.6 как о методах коллективного системного анализа). Естественное развитие моделей происходит не только у людей. Интересный пример этого наблюдали орнитологи. В некоторых европейских странах принято доставлять молоко заказчикам, расставляя по утрам бутылки прямо у дверей или калиток домов. Было замечено, что в одном районе большого города синицы научились пробивать клювом сделанные из фольги крышечки бутылок и отпивать молоко. Вскоре это умение синиц распространилось на весь город и за его пределы.

Это явление развития модели “естественным путем”, как бы “самостоятельной жизни” модели в подходящей культурной среде, наблюдается не только в действительно естественных условиях (скажем, в языковой практике – слухи и анекдоты), но и в более специфических условиях инженерной практики. Например, в имитационном моделировании все чаще начинают с реализации самой простой модели самой сложной ситуации (минимаксный подход), а затем ее усложняют и отрабатывают. В проектировании технических систем все чаще отступают от традиционного надежного, но длительного пути “НИР – ОКР – производство” и прибегают к созданию реальной, пусть плохой, но действующей системы-макета, а затем ее “доводят”, постепенно улучшая. Пожалуй, наиболее ярко это проявляется сейчас в разработке систем программного

обеспечения ЭВМ. Однако эволюционное развитие научно-технических моделей происходит не только тогда, когда мы “организуем” его, но и независимо от нашего желания. Эту тенденцию на примере истории техники очень последовательно проследил С. Лем [8].

Итак, еще один путь неформализуемого развития модели – это ее эволюционная динамика в среде, которой она ингерентна (см. § 2.4).

Подведем итог

Основные положения данного параграфа заключаются в следующем:

как и любые реальности, модели также претерпевают изменения, проходят свой “жизненный цикл”;

пользование готовыми моделями обычно не требует знания их истории, но знание закономерностей развития моделей полезно и необходимо разработчикам;

на этапе построения моделей решающую роль играют неформализуемые

эвристические способности человеческого интеллекта;

существует эволюционный тип развития моделей, при котором вклад отдельных личностей мал, случаен, но в целом

приводит к прогрессу модели; неформализуемость основных этапов построения модели, превращающая этот вид

деятельности в искусство, не означает, что наука вообще и алгоритмизация в частности

непричастны к этому, что нельзя дать никаких полезных

и конкретных рекомендаций, повышающих эффективность моделирования;

наука моделирования состоит в разделении процесса

моделирования на этапы (см., например, [20]), детальном изучении каждого этапа и его

описания с максимально возможной

степенью формализации, рассмотрения и оценивания вариантов;

в целом моделирование

Summary

The main principles set forth in this section are as follows:

– Like all of reality, models are subject to change; they possess a life cycle.

– One does not need to know the history of a model in order to use it; but a knowledge of the general laws governing model development is useful and even necessary for designers of models.

– In model design a decisive role is played by the nonformalizable heuristic capacities of human intelligence.

– There is also an evolutionary mode of model development, in which progress is made by small and random contributions of many people involved.

– The fact that many important stages of modeling are nonformalizable makes modeling activity an art; but this does not mean that science and algorithmization have nothing to do with modeling, that useful, concrete recommendations and methods facilitating modeling cannot be given.

– The science of modeling encompasses the division of modeling into stages (cf., for example [20]), the detailed study of each stage with as formalized a description as possible, and the consideration and assessment of alternative models.

– The process of modeling is an inseparable fusion of science, craft and art.

является неразделимым
сочетанием, сплавом науки и
искусства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обратим внимание на то, что понятие модели оказалось невозможным ограничить только тем самым, что мы непосредственно называем моделью. Если мы хотим включить в это понятие все существенное, т.е. учесть наиболее общие, важные свойства модели и основные условия проявления этих свойств, то мы вынуждены рассматривать все взаимодействия между всеми “сторонами-участниками” моделирования. Таких “участников”, в самом укрупненном представлении, четыре (рис. 2.2): “субъект” – инициатор моделирования и/или пользователь его результатов; “объект-оригинал” – предмет моделирования; “модель” – отображение объекта; “культура” – среда, в которой находятся и с которой взаимодействуют все остальные “участники”.

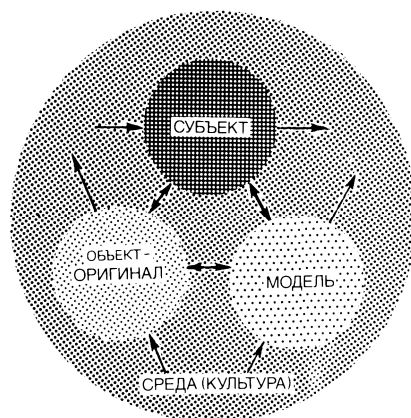
Все сказанное в предыдущем абзаце и изображенное на рис. 2.2 является моделью модели. Для удобства приведем схему построения рассуждений главы в целом. Если в центр всех рассуждений поставить саму модель – концентратор нужной имеющейся информации об объекте-оригинале (а ведь для каких-то целей можно сделать иначе – мы теперь знаем, что всякая модель, в том числе и модель модели, является целевой), то общая схема данной главы может быть проиллюстрирована рис. 2.3.

Если же акцент переместить с того, что такое модель, на то, как она функционирует, то следует отметить один из многих аспектов этого вопроса, а именно: иерархическую организованность моделей, их разноуровневость, включенность одних в другие. Такая организация мира моделей имеет множество важных последствий, которые мы упоминали в разной степени; наиболее важные из них – соответствие модельных построений и отображаемых ими структур природы (см. гл. 1) и ингерентность моделей (см. § 2.4). Сейчас же стоит обратить внимание на то, что иерархический способ построения модели позволяет ей успешно функционировать при различной подробности, детализации, продвинутости, формализованности ее составляющих частей. Оказывается возможным в единой структуре направить на общую цель самые разнообразные модели – от языковых, содержательных, до математических, формальных, и даже модели, отличающиеся не только степенью формализации, но и самими языками описания. Например, в территориальных АСУ основными языками описания любой подсистемы (до уровня производственного объекта) являются языки: финансовый, производственный и социально-ценностный [15]. Эта же особенность иерархического построения модели проявляется на всех уровнях, вплоть до уровня математических моделей. Так, Розенблют и Винер, говоря о математических моделях, подчеркивают, что *формальная модель может быть разнородной совокупностью элементов, часть из которых изучена детально, т.е. конкретно и структурно, а другая часть – только исходя из соображений ее общей работоспособности, т.е. обобщенно и функционально* [18].

Известно много определений модели. Это объясняется тем, что определение также модель; разным целям требуется сопоставить разные аспекты моделей, поэтому различие в определениях модели неизбежно. Еще одна причина различия – ингерентность. Даже одинаковую мысль на разных языках приходится выражать по-разному.

Если попытаться подытожить все сказанное в данной главе в виде еще одного определения модели, то оно может выглядеть так: *Модель есть отображение: целевое; абстрактное или реальное, статическое или динамическое; ингерентное; конечное, упрощенное, приближенное; имеющее наряду с безусловно-истинным условно-истинное и ложное содержание; проявляющееся и развивающееся в процессе его создания и практического использования.*

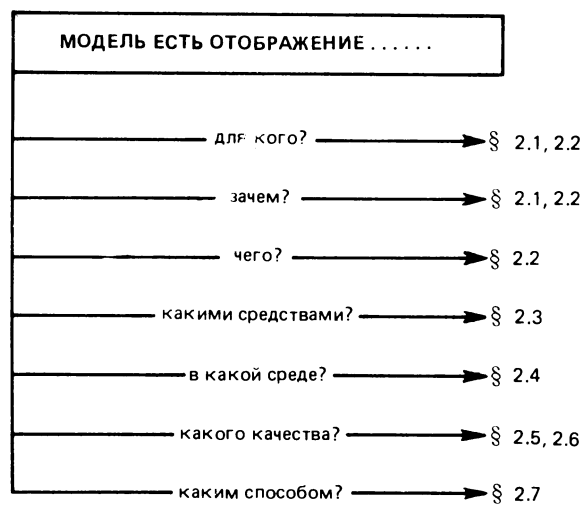
Если же это определение покажется чересчур громоздким, то его вполне можно заменить кратким эквивалентом: *модель есть системное отображение оригинала.* Это сокращение мы приводим не столько для определения модели, сколько для иллюстрации того, насколько богато понятие системности.



**2.2. Схема, отображающая модель как
многместное отношение**

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамар Ж. Исследование процесса изобретения в области математики. – М.: Сов. радио, 1970.
2. Альтшулер Г.С. Найти идею. – Новосибирск: Наука, 1986.
3. Дегтярев Ю.И. Исследование операций. – М.: Высш. шк., 1986.
4. Демьяненко В.З. Проблема понимания как предмет вычислительной лингвистики. – В кн.: Лингвистическое обеспечение информационных систем, – М., 1987.
5. Джонс Дж. К. Методы проектирования. – М.: Мир, 1986.
6. Жаблон К., Симон Ж.-К. Применение ЭВМ для численного моделирования в физике. – М.: Наука, 1983.
7. Кемени Дж., Снелл Дж. Кибернетическое моделирование. Некоторые приложения. – М.: Сов. радио, 1972.
8. Лем С. Сумма технологий, – М.: Мир, 1968.
9. Ленин В.И. Полн. собр. соч. Т. 29.
10. Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 23.
11. Неуймин Я.Г. Модели в науке и технике. – Л.: Наука, 1984.
12. Подольный Р. Нечто по имени нечто. – М.: Знание, 1983.
13. Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. – М.: ИЛ, 1957.
14. Перегудов Ф.И. Основы системного проектирования АСУ организационными комплексами. – Томск: ТГУ, 1984.
15. Перегудов Ф.И. и др. Системное проектирование АСУ хозяйством области – М.: Статистика, 1977.
16. Рассел Б. Человеческое познание. М., 1957.
17. Растригин Л.А. Кибернетика и познание. – Рига: Зинатне, 1978.
18. Розенблют А., Винер Н. Роль моделей в науке. – В кн.: Неуймин Я.Г. Модели в науке и технике. – Л.: Наука, 1984.
19. Седов Л.И. Теория подобия и размерности в механике. – М.: ГИТТЛ, 1954.
20. Хагер Н. Этапы формирования моделей. – В сб.: Эксперимент. Модель. Теория. – М. – Берлин: Наука, 1982.
21. Чешев В.В. Проблема реальности в классической и современной физике. – Томск: ТГУ, 1984.
22. Шэннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир; 1978.
23. Штофф В.А. Моделирование и философия. – М. – Л.: Наука, 1966.



2.3 Последовательность тем, рассмотренных в гл.2