

АНДРАШ КОЧОНДИ

СТРУКТУРА НАУЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С точки зрения выявления сущности научной модели большое значение имеет анализ структуры моделирования. Изучение взаимосвязей элементов и состояний метода моделирования дает нам возможность уточнить понятие модели и вскрыть наиболее характерные черты отношения модели к моделируемому объекту в процессе применения данного метода научного познания.

Прежде чем приступить к анализу структуры метода моделирования следует коротко остановиться на самом понятии метода моделирования и научной модели. В литературе по научной методологии нет единого понимания данного метода познания. В основном можно наблюдать два крайних подхода к моделированию. Авторы первой концепции расширяют понятие данного метода научного исследования, отождествляя его с самим познанием или отражением. Данной точке зрения придерживается, например, *Н. М. Амосов*, который считает всякое познание моделированием.¹ Подобно этому, *К. Е. Морозов* рассматривает „все формы познавательной деятельности” „в определенном смысле как модели”.² Авторы второй концепции, наоборот, сужают понятие научного моделирования, отождествляя его с некоторым видом моделирования. Так, например, под моделированием часто понимается только использование математических моделей.

На наш взгляд, моделирование — универсальный метод опосредованного исследования предмета познания. Это значит, что оно есть такой способ, прием исследования, в ходе которого субъект не воздействует непосредственно на объект познания, а его познавательно-исследовательские операции направлены на другой объект, являющийся заместителем первого в процессе исследования. В ходе научного познания часто возникают такие ситуации, когда или вообще невозможно, или возможно только прилагая большие усилия, а может быть просто нецелесообразно непосредственное изучение объекта. В таких случаях исследователь прибегает к изучению другого объекта, находящегося с предметом познания в определенном объективном отношении соответствия (например, аналогии, изоморфизма, гомоморфизма), чтобы, познавая этот другой объект (или его некоторые свойства, стороны, закономерности), получить новую информацию о самом объекте познания. Таким образом, для моделирования существенно то или иное, но точно зафиксированное и четко сформули-

¹ *Н. М. Амосов*: Моделирование мышления и психики, Киев, Изд-во „Наукова думка”, 1965, стр. 46.

² *К. Е. Морозов*: Математическое моделирование в научном познании, М., Изд-во „Мысль”, 1969, стр. 9.

рованное объективное отношение соответствия, сходства. Все это дает нам основание определить понятие метода научного моделирования так: *моделирование есть метод научного исследования, в ходе которого познание непосредственно интересующего исследователя объекта осуществляется путем изучения другого* (материального или идеального, естественного или искусственного) объекта, обладающего определенным и известным исследователю объективным отношением соответствия, сходства с познаваемым объектом. Этот промежуточный объект, который является заместителем изучаемого объекта и средством его познания, на который в данный период исследования непосредственно направляются познавательные операции субъекта, и посредством изучения которого получают новые знания о подлинном объекте познания — принято называть моделью. Следовательно, *научная модель — это материальная (вещественная) или идеальная (мысленная) система, воспроизводящая или отображающая объект познания, находящаяся с ним в объективном отношении соответствия, и заменяющая его в процессе исследования так, что изучение ее позволяет получить новую информацию о самом объекте познания*. Пусть М — система явлений всякой природы, О — другая система явлений; пусть М' — множество высказываний о системе М, и О' — множество высказываний о системе О. Если система М используется для исследования системы О, и О' получается с помощью М, то система М является моделью системы О. Согласно этому, моделирование является таким способом, приемом научного исследования, в ходе которого исследователь систему О, являющуюся объектом познания, заменит системой М, и посредством изучения М он получает некоторую новую — хотя бы негативную — информацию о системе О. Следовательно, модель представляет собой одно из средств научного познания, и неотделима от моделирования как универсального метода опосредованного исследования объекта.³

Определение понятия метода моделирования и научной модели позволяет нам изучать, с одной стороны, динамизм моделирования, и с другой стороны особенности его элементов и их взаимоотношений, то есть позволяет нам раскрыть структуру научного моделирования.

Говоря о структуре моделирования, под структурой мы понимаем множество внутренних отношений системы, то есть совокупность отношений элементов и состояний системы. Структура выражает способ организации элементов и последовательности ее состояний. Как видно, структура имеет два аспекта: с одной стороны — она содержит в себе закономерности изменения и взаимоотношения разных состояний системы и выражает способ и порядок перехода системы из одного состояния в другое (это можно назвать *динамической структурой*⁴ или структурой динамизма); а с другой стороны — она включает в себя устойчивые взаимосвязи элементов и подсистем системы, то есть ее организованность, и представляет собой порядок соединения разных сторон и частей объекта, способ его построения (это можно назвать *статической структурой* или структурой состояния). Таким образом, в первом случае изучаемый объект рассматривается как процесс, как последовательность состояний, а в другом случае — как система внутренних отношений, как организация элементов.

³ Более подробный анализ понятия и особенностей научных моделей см. *Kocsondi A.: A tudományos modellek és a modell-módszer fogalmáról*, „Magyar Filozófiai Szemle”, 1970. 5.

⁴ Подобную терминологию употребляет *Е. П. Никитин* (см. *Е. П. Никитин: Объяснение — функция наука*, М., Изд-во „Наука”, 1970.), а также *М. Бунге* (см. *Г. И. Рузавин: Фундаментальный труд по методологии научного исследования*, Вопросы Философии, 1971. № 1.).

Из этого следует, что о структуре научного моделирования можно говорить также двояко:

во-первых, о структуре моделирования как *познавательного процесса*, обращая внимание на изменение его разных состояний; мы рассматриваем в этом плане прежде всего разные *этапы* процесса моделирования и их отношений;

во-вторых, о структуре моделирования как *системы элементов*, имея в виду способ его внутренней организации; здесь изучаются в первую очередь *элементы* метода моделирования и их взаимоотношение.

I.

Основные этапы процесса моделирования

Моделирование является сложным, многоэтапным процессом изучения объекта познания; сложность его структуры связана преимущественно с тем, что в ходе исследования объект познания замещается его моделью, выступающей в качестве непосредственного предмета исследования с одной стороны, и в качестве средства изучения объекта — с другой. Структура моделирования как процесса выявляет, таким образом, отношение модели и моделируемого объекта в ходе исследования. Поэтому на основе установления основных этапов моделирования и их характеристики мы получаем возможность раскрыть не только его динамизм, но и некоторые характерные черты модели и ее отношения к объекту познания.

Некоторые авторы считают, что моделирование начинается с построения модели.⁵ По нашему мнению нельзя согласиться с данным положением, так как этой стадии моделирования всегда предшествует теоретическая деятельность исследователя. Субъект перед построением модели изучает ее отношение к объекту, и только на основе познания некоторых аспектов данного отношения выбирает или создает модель. А согласно положению Б. А. Глинского, моделирование как процесс имеет следующих четыре этапа: а) постановка задачи; б) создание (выбор) модели; в) исследование модели; г) перенос знания.⁶ И в основном можно согласиться с мнением И. Б. Новика, согласно которому за этапом переноса информации следует „практическая проверка экстраполяции такого рода”.⁷ На наш взгляд, основные этапы моделирования как познавательного процесса, следующие: 1/ возникновение необходимости (или целесообразности) моделирования; 2/ теоретическая подготовка моделирования; 3/ создание или выбор модели; 4/ изучение модели; 5/ перенос знания; 6/ проверка и подтверждение нового знания; 7/ включение нового знания в систему научной теории.

Рассмотрим данные основные этапы процесса моделирования.

1.1. Возникновение необходимости (или целесообразности) моделирования. Моделирование тесно связано с другими формами и методами научного познания. Изучение объекта начинается не с его моделирования, а с иссле-

⁵ см. И. Б. Новик: О моделировании сложных систем, М., Изд-во „Мысль” 1965, стр. 35.; И. Б. Михайлова: Методы и формы научного познания, М., Изд-во „Мысль”, 1968, стр. 77.

⁶ Б. А. Глинский, Б. С. Грязнов, Б. С. Дышин, Е. П. Никитин: Моделирование как метод научного познания, Изд-во Московского Университета, 1965, стр. 53—67.

⁷ И. Б. Новик: ук. соч., стр. 36.

дования объекта, или его определенных сторон, с помощью других методов, средств научного познания. Изучение объекта, конечно, может происходить и на эмпирическом уровне научного познания, и на теоретическом; оно может быть наблюдением, описанием объекта, накоплением фактов о нем, экспериментом над ним, мысленной операцией или логической процедурой с его элементарными образами, с высказываниями о нем, со знаками объекта и т. д. В результате этой деятельности субъект получает определенные знания об объекте. Однако он может столкнуться с трудностью или невозможностью дальнейшего непосредственного исследования объекта. Чтобы разрешить эти трудности, он прибегает к моделированию объекта. Моделирование, таким образом, оказывается *определенной стадией научного исследования*, тесно связанной с предыдущими стадиями познания, в ходе которых появляется необходимость, возможность или целесообразность моделирования объекта познания.

В целях выяснения вышеизложенного, то есть того, что моделирование в самом деле тесно связано с процессом исследования, и что моделированию объекта вообще предшествует его изучение посредством других методов, мы приведем пример, взятый из истории молекулярной биологии, а именно открытие структуры дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Как известно, структура ДНК была открыта в 1953 г. с помощью модели Уотсона и Крика о двухспиральной структуре ДНК, которая „произвела подлинный переворот в биологии, да и, можно сказать, в науке вообще.”⁸ В то время уже был известен химический состав ДНК,⁹ и то, что она является носителем первичной генетической информации. Однако, на основе химического состава ДНК невозможно было объяснить, каким образом она способна на самовоспроизведение и на хранение и передачу информации. Стало ясным, что объяснение наиболее существенных генетических функций ДНК может быть осуществлено лишь путем открытия ее структуры. В силу этого исследование структуры ДНК стало центром внимания ученых. В начале ученые изучали структуру ДНК с помощью биохимических и кристаллографических методов, например, посредством хроматографии на бумаге и в первую очередь метода рентгеноструктурного анализа. Только в результате эмпирического материала, полученного с помощью данных методов, стало возможным построение модели структуры ДНК.

1.2. Теоретическая подготовка моделирования. После того, как исследователь осознал необходимость, возможность или целесообразность моделирования, он должен, с одной стороны, точно определить задачу моделирования, а с другой стороны теоретически подготовить выбор или создание модели, а также ее исследование. С этой целью он „прежде всего актуализирует прежний опыт изучения объекта”,¹⁰ накапливает уже установленные эмпирические и теоретические данные о нем, и может быть изучает его с помощью разных методов эмпирического и теоретического исследования (например, посредством наблюдения, материального и мысленного эксперимента и т. д.). Значительно могут содействовать осуществлению моделирования новые эмпирические данные. Так, например, Дж. Кендрю в своей книге „Нить жизни” ука-

⁸ Дж. Бернал: Возникновение жизни, М., Изд-во „Мир”, 1969, стр. 16.

⁹ ДНК представляет собой полинуклеотид, то есть она состоит из нуклеотидов, содержащих в себе в свою очередь сахар, фосфат и азотистое основание. Основания в молекуле ДНК могут быть пуриновые (аденин и гуанин) и пиримидиновые (тимин и цитозин).

¹⁰ Б. А. Глинский, Б. С. Грязнов, Б. С. Дынин, Е. П. Никитин: ук. соч., стр. 54.

зывает на то, что революцию наших знаний о структуре ДНК обосновывало два эмпирических открытия.¹¹ Первое из них было открытие *Е. Чаргафа* о пропорциональности азотистых оснований в молекуле ДНК. Он установил закон спаривания оснований, согласно которому имеется определенное процентное соотношение между количеством пиримидиновых оснований и количеством пуриновых, а именно тимин соизмеряется с аденином, а цитозин с гуанином. Другим значительным эмпирическим результатом было то, что удалось улучшить качество рентгенодифракционных фотографий о нитях ДНК.

Важной задачей данного этапа моделирования является изучение тех объектов, которые способны выступать в качестве модели. Поэтому исследователь сосредоточивает свое внимание на явлениях, имеющих объективное соответствие, сходство с изучаемым объектом, чтобы выбрать соответствующую модель объекта. С этой целью он рассматривает аналогичные объекту явления, чтобы установить, какие из них способны на основе своих объективных свойств выступить в качестве модели. Так, например, *Ф. Крик* и *Дж. Уотсон* на начальном этапе исследования структуры ДНК изучали разные спиральные структуры, чтобы установить, какая из них дает рентгенодифракционную фотографию, подобную структуре ДНК.

В начале анализа исследователь прежде всего стремится выделить круг явлений, более простых и более известных, чем объект познания. После установления данных явлений исследователь выбирает из них те, которые обладают существенными с точки зрения исследования свойствами объекта, и которые в то же время не обладают такими свойствами, которые затрудняют или делают невозможным непосредственное исследование объекта. Наиболее существенным моментом данного этапа моделирования — является *открытие отношения между объектом и будущей моделью* и его качественный и количественный анализ. Исследователь мысленно выделяет общие и существенные с точки зрения исследования свойства объектов, и отвлекает от их различных и побочных с точки зрения исследования свойств, открывает их сходство.

Интересная ситуация возникла в данном отношении при построении двухспиральной модели структуры ДНК: в 1951 г. *Лайнус Полинг* частично раскрыл структуру белковых молекул (структуру т. н. α -спирали). Как об этом пишет *Дж. Уотсон* в своей книге „Двойная спираль”, при построении модели структуры ДНК они с *Криком* использовали модель *Полинга* в качестве модели, а именно в двойном отношении: во-первых, для них моделью служил метод *Полинга*, то есть они решили изучать структуру молекулы ДНК — подобно изучению *Полингом* белковых молекул — путем построения структурной модели; во-вторых, сама спиральная структура белковых молекул играла роль модели, поскольку они на основе некоторых эмпирических данных (например, на основе аналогии рентгенокристаллографических фотографий α -спирали и ДНК) решили построить спиральную модель структуры ДНК. Однако при рассмотрении отношения структуры α -спирали и ДНК они имели в виду не только их сходство, но и их различия. Так, например, в самом начале они установили, что ДНК имеет более сложную структуру, чем α -спираль, так как последняя образует спиральную структуру из одной полипептидной цепи, состоящей из аминокислот; а молекула ДНК, как это видно было на основе эмпирических данных, образует сложную спиральную структуру, состоящую из двух, трех, и может быть более полинуклеотидных цепей, закрученных одна вокруг другой. Структура ДНК более слож-

¹¹ J.C. Kendrew: Az élet fonala, Gondolat, Bp., 1968. 66—67.

на, чем структура α -спирали, и вследствие того, что она содержит в себе нуклеотиды четырех типа, и поэтому молекула ДНК не является правильной. Ф. Крик и Д.Ж. Уотсон предполагали при построении модели, что главная цепь спирали, состоящая из фосфатных и сахарных групп, является правильной, а последовательность разных азотистых оснований необходимо неправильной.¹² Обнаружение аналогий и различий между структурами α -спирали и ДНК позволяло построение спиральной модели структуры ДНК, так как точное установление и строгая фиксация сходства, соответствия объекта и будущей модели является необходимым условием моделирования. Наличие строго зафиксированного и четко сформулированного отношения между моделируемым объектом и явлением, выступающим в качестве модели, является основой не только выбора или создания модели, но и переноса знания, полученного при изучении модели, на объект.

1.3. Создание или выбор модели. Анализ отношения между объектом и явлениями, которые могут быть его моделями, дает возможность либо выбрать одно конкретное явление в качестве модели, либо мысленно или материально¹³ создать модель объекта. Выбор модели, конечно, зависит не от произвола познающего субъекта. Исследователь выбирает модель, имея в виду ее объективные свойства, ее отношение к объекту. Хотя модель может свободно отличаться от побочных с точки зрения исследования свойств объекта (у мысленных моделей можно отвлечь даже от таких свойств объекта, без которых он не может реально существовать), при создании модели исследователь должен иметь в виду ряд требований: Во-первых, при построении модели надо иметь в виду предыдущие эмпирические и теоретические знания об объекте моделирования и о модели. Модель может быть удачно построена лишь тогда, когда в процессе ее мысленного или материального создания исследователь опирается на широкий круг знаний, связанных каким-нибудь образом с данной задачей. Так, например, Крик и Уотсон использовали при построении двухспиральной модели ДНК не только результаты генетики и молекулярной биологии, или биологии вообще, но и кристаллографии, органической химии и т. д.

Во-вторых, модель должна быть построена так, что, с одной стороны, необходимые опыты над ней могут быть выполнены, и поэтому: а) она должна обладать свойствами объекта, познание которых является целью данного периода исследования; б) одновременно она должна отличаться от тех свойств объекта, которые затрудняют или делают невозможным непосредственное изучение объекта; в) общие свойства модели и моделируемого объекта должны быть существенными; г) она должна быть более известной чем объект; и д) она должна иметь более простую структуру; с другой стороны она должна позволять перенос полученных знаний на объект. Поэтому отношение модели к объекту должно быть известным и точно зафиксированным. Следовательно, модель должна быть построена так, чтобы стать плодотворным средством познания объекта.

1.4. Изучение модели является одним из наиболее важных этапов моделирования. Исследователь, создавая модель, использует ее для того, чтобы с ее

¹² см. J. D. Watson: A Kettős spirál, Gondolat, Bp. 1970.

¹³ При рассмотрении структуры построения материальных моделей надо иметь в виду, что исследователь перед построением материальной модели мысленно создает ее, и в силу этого материальная модель является овеществлением мысленной модели.

помощью изучать объект познания. Благодаря этому на этом этапе моделирования модель как бы делает себя независимой от объекта и одновременно становится действительным и самостоятельным компонентом исследования. Интерес исследователя временно переносится на модель и он вовлекает модель с помощью соответствующих ее природе средств и методов в исследовательские процессы и процедуры, обусловленные природой модели и данной целью исследования, чтобы познать ее некоторые свойства и стороны. Следовательно, на этом этапе моделирования модель как заместитель объекта *становится непосредственным предметом исследования*. В силу этого на данном этапе вся познавательная деятельность исследователя направляется на модель: он наблюдает именно модель, над моделью производит измерения, вычисления, эксперименты и его теоретически-познавательная деятельность концентрируется на модель, над ней (или над элементарными образами, высказываниями, знаками, принадлежащими к ней) производит теоретические и логические операции и т. д. Свою познавательную деятельность исследователь продолжает до тех пор, пока не познает до необходимой глубины определенные стороны модели. Если при изучении модели не получается желаемый результат, то исследователь преобразует модель, или создает новую, и над ней производит соответствующие операции до тех пор, пока не получит необходимые знания. Так, например, Уотсон и Крик сначала строили спиральную модель ДНК, состоящую из трех полинуклеотидных цепей, но с помощью данной модели они не получили желаемый результат. Поэтому они строили новую, уже двухспиральную модель, с помощью которой они могли объяснить структуру и биологические функции ДНК.

Модель интересует исследователя, однако, не сама по себе, а лишь как заместитель объекта. Из этого вытекает два важных вывода. Во-первых, направление и задача изучения модели определяется моделируемым объектом: какие свойства модели и до какой глубины должны быть познаны, какие из знаний, полученных при изучении модели, существенные, и какие несущественные — зависит от объекта познания, а не от модели. Во-вторых, моделирование только тогда может считаться успешным, когда знания, полученные в результате изучения модели, распространяются не только на модель, но и на подлинный предмет познания.

1.5. Перенос знаний на объект моделирования. Так как, с одной стороны, конечной целью моделирования является познание не модели, а самого моделируемого объекта, а с другой стороны знание, полученное в процессе моделирования, относится непосредственно к изучаемому явлению, то есть к модели, поэтому новая информация должна быть перенесена на объект. Таким образом, другим важным этапом моделирования является — наряду с изучением модели — этап переноса знаний, в ходе которого с помощью соответствующих теоретических и логических средств знание переносится с модели на моделируемый объект. Чтобы перенос знаний может быть реализован, и полученная таким путем информация достоверна, необходимо наличие некоторых условий:

- а) новое знание, перенесенное на объект моделирования, должно быть связано с теми свойствами модели, которые являются общими или сходными со свойствами объекта;
- б) основой переноса знания является объективное соответствие между моделируемым объектом и моделью, поэтому элементы и отношения

структуры модели должны соответствовать элементам и отношениям структуры моделируемого объекта;¹⁴

- в) исследователь должен знать форму соответствия модели и моделируемого объекта;
- г) полученное знание только тогда будет достоверным, когда исследователь при экстраполяции знания использует такие теоретические и логические средства, которые обеспечивают достоверность знаний;
- д) большое влияние оказывает на успешность моделирования степень развития научного познания и научной техники, особенно теоретический уровень данной отрасли науки, ее методы, язык (например, то, в какой мере применяются в ней количественные, в том числе математические, методы для описания изучаемых явлений); наконец:
- е) характер и достоверность полученного при моделировании знания не в малой мере зависит от того, какую форму, какой вид моделей употребляет исследователь при изучении (так, например, у материальных моделей значительное влияние оказывают на результат моделирования ошибки, неточности измерения).

Исследователь, однако, хочет не только новые знания об объекте, но и использовать их для объяснения объекта, для практического оперирования с ним. Поэтому недостаточно перенести знание на моделируемый объект, а нужно знать и то, что новое знание на самом деле отражает некоторые стороны объекта, и в какой мере отражает его, в какой мере оно относится к нему, насколько оно достоверное. Следовательно, недостаточно перенести новую информацию с модели на моделируемый объект, а она должна быть проверена и доказана.

1.6. Проверка и подтверждение нового знания. Данный этап, по нашему мнению, связан не только с практической проверкой экстраполяции, как это утверждает *И. Б. Новик*,¹⁵ хотя она является одним из наиболее существенных компонентов данного этапа, а представляет собой совокупность сложных, многосторонних теоретических, логических и практических приемов. Нельзя суживать данный этап до практической проверки потому, что нередко просто невозможны непосредственное применение и проверка полученных знаний. Главные моменты проверки и подтверждения новых знаний, на наш взгляд, следующие:

а) *проверка переноса знания*, то есть исследователь должен снова проверить, в какой мере осуществлялись условия экстраполяции знаний, изложенные нами при характеристике предыдущего этапа моделирования, насколько обеспечивают они достоверность нового знания. Особенно важна проверка соответствия между моделью и моделируемым объектом с одной стороны, и употребляемых теоретических и логических средств, приемов — с другой;

б) *сопоставление нового знания с фактами*: Исследователь сопоставляет полученные при моделировании знания с фактами, накопленными раньше об объекте, или он использует их для описания, объяснения этих фактов. Если новое знание не соответствует фактам, или с его помощью нельзя объяснить данный круг фактов, то модель оказывается неудачной, и она либо отвергается и строится новая модель, либо, по крайней мере, она нуждается в значительной переработке. Так, например, трехспиральная модель структуры ДНК не

¹⁴ Отношение модели к моделируемому объекту анализируется в части III. данной статьи.

¹⁵ *И. Б. Новик*: ук. соч., стр. 36.

полностью соответствовала фактам (например, было обнаружено, что содержание воды в молекуле ДНК значительно больше, чем в данной модели), и поэтому *Ф. Крик* и *Дж. Уотсон* отбросили данную модель. Если же новые знания соответствуют фактам, или с их помощью можно описать, объяснить, систематизировать факты, то не в малой мере подвергается достоверность новых знаний. После построения двухспиральной модели ДНК *Ф. Крик* и *Дж. Уотсон* изучали, какую рентгенограмму дает данная модель, и сравнивали ее с рентгенодифракционной фотографией молекулы ДНК. На основе данного сравнения они в некоторых аспектах видоизменили модель так, что она, можно сказать, с полностью соответствовала структуре молекулы ДНК.¹⁶

В процессе доказательства гипотетической модели *Ф. Крика* и *Дж. Уотсона* значительную роль играло и то, что она не только соответствовала научным фактам о структуре ДНК, например, кристаллографическим данным, рентгеноструктурной фотографии, но одновременно с ее помощью стало возможным объяснение генетических функций ДНК, например, объяснение передачи потомству генетической информации. Согласно данной модели точное воспроизведение и передача потомству генетической информации обеспечиваются редупликацией молекулы ДНК и спариванием пиримидиновых и пуриновых оснований.

у) *сопоставление нового знания с научными законами и принципами*: Важным шагом в процессе доказательства новых знаний является их сопоставление с научно-доказанными законами, принципами, относящимися к моделируемому объекту и, если уже имеется, с научной теорией, отражающей объект, и обнаружение соответствия между ними. Согласие с уже доказанными научными принципами, законами служит дальнейшему подтверждению новых знаний и самой модели; хотя несогласие между ними не обязательно покажет ошибочность или неточность новых знаний, полученных в результате моделирования. Новое знание в значительной мере подтверждается, если оно согласуется с общими принципами, всеобщими законами, лежащими в основе наук. Так, достоинством двухспиральной модели структуры ДНК является и то, что она соответствует не только законам генетики и молекулярной биологии, но и законам биологии вообще, а также законам органической химии, кристаллографии и т. д.

В значительной мере подтверждается новое знание и тогда, когда из модели могут выводиться или с ее помощью могут объясняться эмпирически установленные законы данной отрасли науки. Так, модель *Крика* и *Уотсона* получила подтверждение и в силу того, что с помощью структуры двойной спирали, образованной двумя полинуклеотидными цепями, можно было объяснить эмпирически установленный закон *Чаргафа* о спаривании оснований,¹⁷ согласно которому пиримидиновое основание всегда соответствует пуриному, и наоборот, при этом тимин (Т) соответствует аденину (А), а цитозин (Ц) — гуанину (Г). Согласно данной модели две полинуклеотидных цепи двойной спирали соединяются с помощью азотистых оснований, а именно так, что каждое основание соединяется с противоположным ему основанием другой цепи водородной связью. Таким образом, между двумя цепями образуются „мостики”, состоящие либо из пары А-Т, либо из пары Г-Ц. Поэтому в молекуле ДНК число группы А всегда согласуется с числом группы Т, и число группы Г — с числом группы Ц, как это было установлено эмпирически *Чаргафом*.

¹⁶ см. *Дж. Кендрью*: ук. соч., стр. 69.

¹⁷ *Дж. Кендрью*: ук. соч., стр. 68.

д) *практическая проверка и практическое подтверждение нового знания*: Наряду с вышеуказанным исследователь должен, если это возможно, и практически (например, экспериментально) проверить новое знание и его выводы. Экспериментальное подтверждение полученного при моделировании знания является неизбежным условием особенно в случае материальных моделей. Согласно мнению Дж. Кендрью, решающим был эксперимент Мезелсона и Стала, посредством которого было установлено, что репликация ДНК происходит соответственно модели Крика и Уотсона. Мезелсон и Стал при изучении размножения бактерий эмпирически доказали, что самовоспроизведение и передача потомству генетической информации осуществляется путем редупликации ДНК и комплементарного самокопирования.

Поскольку реализуется и практическое подтверждение новых знаний, постольку это вместе с предыдущими операциями является доказательством истинности новых знаний.

1.7. Включение нового знания в систему научной теории. Научно уже доказанное знание исследователь включает в систему научной теории, отражающей моделируемый объект, или, если нет таковой, оно может образовать основу построения научной теории, или, по крайней мере, научной гипотезы, относящейся к моделируемому объекту. Этим завершается данный период моделирования объекта. Однако, не завершается исследование объекта. Дальнейшее исследование изучаемого объекта может осуществляться по двум путям:

1. *С помощью непосредственного изучения объекта*, то есть исследователь, если новое знание, полученное в ходе моделирования объекта, или какое-то другое обстоятельство позволяет это, возвращается к непосредственному наблюдению объекта, к непосредственному экспериментированию над ним и т. д.

2. *С помощью моделирования высшего уровня*, то есть если не устранены факторы, задерживающие непосредственное исследование объекта, исследователь, владеющий новым знанием, совершенствует модель, или строит новую модель, более точно отражающую сущность объекта, и с ее помощью старается получить новые знания.

Подводя итоги характеристики структуры моделирования как исследовательского процесса, мы можем установить, что в нем можно выделить семь этапов. Данная структура моделирования в реальном процессе исследования, конечно, может видоизменяться: отдельные этапы могут смешиваться друг с другом, и вследствие этого некоторые из них могут элиминироваться, или сливаться с другими этапами, их роль может изменяться в целом процессе и т. д. Однако, данная характеристика этапов моделирования, на наш взгляд, в целом точно отражает сложную структуру процесса моделирования и сложное взаимоотношение моделируемого объекта и модели в данном процессе.

II.

Элементы метода моделирования и их взаимосвязь

Во-вторых, структура метода моделирования может рассматриваться как система отношений между его элементами. В связи с этим мы характеризуем элементы метода моделирования, анализируем их отношение друг с другом и отдельно рассматриваем отношение модели к моделируемому объекту, т. н. модельное отношение.

2.1. Характеристика элементов моделирования. В литературе по гносеологическим вопросам моделирования широко распространено положение, согласно которому данный метод научного познания имеет три элемента, а именно: объект исследования; субъект познания и модель.¹⁸ Это положение столь общепринято; что даже при изучении материально-вещественных моделей не принимают во внимание место и роль экспериментальных средств в процессе моделирования.¹⁹ По нашему мнению, при изучении структуры моделирования надо иметь в виду и те средства научного познания, при помощи которых осуществляется моделирование. Таким образом, метод моделирования содержит в себе следующих четыре элемента:²⁰ 1. объект моделирования; 2. субъект моделирования; 3. модель; и 4. средства исследования.

Объект моделирования (O_M) или моделируемый объект (другие термины: оригинал, прототип, образец и т. д.) — это подлинный, собственно предмет исследования, познание которого (или его некоторых свойств, отношений) является целью моделирования, и изучению которого служит и модель. Благодаря этому он в некотором смысле тождествен с объектом познания. В отличие от этого, по нашему мнению, целесообразно различать понятие „объекта моделирования” и понятие объекта в гносеологическом смысле, так как моделируемый объект является некоторой конкретной формой, конкретной частью объекта познания, то есть он всегда является конкретным объектом. Хотя объект моделирования представляет собой конкретный объект, он всегда выступает в качестве представителя одного класса объектов, и вследствие этого знание, полученное в процессе моделирования, относится не только к данному отдельному объекту, но и к данному классу объектов, членом, репрезентантом которого он является.

В связи с понятием объекта моделирования надо подчеркнуть и то, что *он может обладать всякой природой*. Нельзя согласиться с положением, согласно которому моделируемый объект может быть только материальный предмет, или система материально-вещественных объектов. Как в качестве предмета познания могут выступать и материально-вещественные и идеально-мысленные образования, так и в роли моделируемого объекта может выступить не только материальный предмет, но и мысленный образ, идеализированный объект, знаковая система, научная теория и т. д., то есть и идеальный объект.

Неправильным является также положение, согласно которому объектом моделирования может быть лишь натуральное явление.²¹ Модель может служить изучению не только натуральных, но и искусственных систем (например, модели материально-искусственных сооружений (кораблей, самолетов, зданий, мостов и т. д.), модели, выступающие в качестве интерпретации абстрактных знаковых систем и т. д.). Таким образом, объект моделирования может быть и материальным и мысленным; и природным и искусственным.

¹⁸ см., например, Б. А. Глинский и др.: ук. соч., стр. 53.

¹⁹ В данном отношении исключениями являются лишь исследования В. А. Штоффа об отношении эксперимента и модели, а также о модельном эксперименте (см. в Литературе).

²⁰ В некотором смысле элементом или компонентом моделирования может считаться и результат данного познавательного процесса, то есть знание, полученное при изучении модели и перенесенное на объект моделирования, т. е. модельное знание или модельное заключение.

²¹ Так, например, по определению И. Т. Фролова „моделирование означает материальное или мысленное имитирование реально существующей (натуральной) системы...” (И. Т. Фролов: Гносеологические проблемы моделирования биологических систем, Вопросы Философии, 1961, № 2., стр. 39. — курсив наш А. К.)

Субъект моделирования (S_M) — исследователь (или группа исследователей), который старается познать некоторые аспекты объекта моделирования, который создает (или выбирает) и использует модель, для которого один объект функционирует в качестве модели, а другой — в качестве моделируемого объекта. Таким образом, понятие субъекта моделирования мы тоже отличаем от понятия субъекта в гносеологическом смысле, поскольку под этим понимается не человеческое общество, являющееся носителем принципиально бесконечного процесса познания, и отражающее все более точно сущность объекта познания, а отдельный исторический индивидуум или коллектив, то есть отдельный член или отдельная группа общества. Так как исследователь, или коллектив исследователей существует не изолированно от общества, а является его членом, он, конечно, может обладать, по крайней мере принципиально, всеми знаниями, опытом, накопленным уже обществом.

В отличие от мнения *Г. Клауса, К. Д. Вюстнека* и других авторов, которые считают носителем модели всякую динамическую самоуправляющую систему, воспринимающую информацию из среды,²² нами допускается и то, что субъектом моделирования может быть лишь отдельный исторический индивидуум или коллектив, то есть член человеческого общества. Это вытекает, между прочим, из характеристики процесса моделирования: очевидно, что сложные теоретические и логические действия, связанные с построением модели или переносом знания, способен реализовать лишь субъект, обладающий абстрактным мышлением.

Модель (M) является промежуточным звеном между субъектом и объектом моделирования, опосредствующим влияние первого на второй. Так как мы уже охарактеризовали понятие модели, укажем только на то, что модель — подобно объекту моделирования — *может быть всякой природы*: модели тоже могут быть и материальные и мысленные, и природные и искусственные.

Средства исследования (I_M) опосредствуют, с одной стороны, влияние субъекта на модель и на моделируемый объект; и с другой стороны влияние модели и объекта моделирования на субъект. К средствам исследования относятся, следовательно, все материально-технические, теоретически-мысленные и логические средства, приемы, которые исследователь использует в процессе моделирования. То, какие средства употребляет субъект на данном этапе моделирования, определяется, во-первых, задачами моделирования; во-вторых, природой моделируемого объекта; в третьих, природой самой модели; и в четвертых, особенностями данного этапа моделирования. По своей природе средства исследования могут быть: а) *материально-техническими* (например, экспериментальные устройства, приборы, инструменты и т. д.); б) *теоретически-мысленными* (например, понятия, категории, суждения, идеализированные объекты, знания, принципы, аксиомы, теоремы и т. д.); в) *логическими* (например, логические знаки и правила, способы умозаключения, логические операции и т. д.). Средства, принадлежащие к первой группе, используются при построении и изучении материальных моделей; средства, относящиеся ко второй группе, употребляются в основном (но не исключительно) в ходе операции, связанных с

²² см., например, *Г. Клаус*: Кибернетика и общество, М., Изд-во „Прогресс“, 1967; *К. Д. Вюстнек*: Zur philosophischen Verallgemeinerung und Bestimmung des Modellbegriffs, „Deutsche Zeitschrift für Philosophie“, 1963. 12.

мысленными моделями; а логические средства неизбежно применяются при оперировании как материальными, так и мысленными моделями. На основе их функций, выполненных в процессе моделирования, можно различать средства 1. создания модели, 2. исследования модели, и 3. переноса и подтверждения нового знания. Наиболее существенным средством изучения моделируемого объекта в процессе моделирования является, конечно, сама модель.

2.2. Взаимосвязь элементов моделирования; активность субъекта. Данные элементы метода моделирования многосторонне связаны друг с другом. В первом и общем подходе полезно начать анализ структуры моделирования с изучения отношений только трех первых его элементов, то есть с рассмотрения взаимосвязей объекта моделирования, субъекта моделирования и модели объекта. Между ними, на первый взгляд, имеются три отношения, а именно: взаимосвязи объекта и субъекта моделирования, объекта и модели, и субъекта и модели, которые можно выразить схематически так:

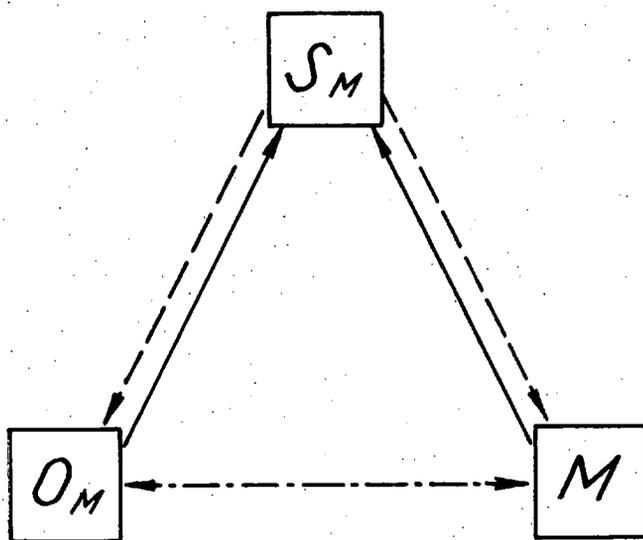


рис. 1.

где: O_M — объект моделирования; S_M — субъект моделирования; M — модель объекта; прерывистая стрелка ($\cdots\rightarrow$) обозначает активное воздействие субъекта; непрерывная стрелка (\rightarrow) — противодействие другого полюса взаимосвязи, а знак ($\leftarrow\cdots\rightarrow$) — соответствие между моделью и объектом моделирования.

Однако структура моделирования более сложна, и это выражается главным образом в том, что субъект моделирования имеет многостороннюю связь и с моделируемым объектом, и с моделью. В ходе своей деятельности он влияет на другие компоненты моделирования и вовлекает их в сферу своей деятельности. Отношение субъекта к объекту и модели, конечно, в разные периоды его деятельности (то есть на разных этапах моделирования) разное.

Между субъектом и объектом моделирования имеются следующие отношения: 1. теоретически-познавательное отношение субъекта к объекту до

собственно моделирования (обозначим данное отношение так: $R^1(S,O)$), сюда относятся наблюдение, описание объекта, эксперимент над ним, постановка задачи, имеющееся знание о нем и т. д.; 2. *перенос нового знания* (отношение $R^2(S,O)$), в ходе которого субъект моделирования переносит новую информацию, полученную в результате изучения модели, на моделируемый объект; 3. *проверка и подтверждение нового знания* (отношение $R^3(S,O)$), в процессе которого субъект, имея новую информацию, объясняет, толкует, описывает объект, практически проверяет новое знание; 4. *включение модельного знания в систему знаний* об объекте (отношение $R^4(S,O)$), в ходе которого новое знание становится частью научной теории (гипотезы), описывающей моделируемый объект.

Между субъектом моделирования и моделью имеются следующие отношения: 1. *предварительное изучение будущей модели* (отношение $R^1(S,M)$), в ходе которого субъект рассматривает круг явлений, которые могут выступать в качестве модели; сюда относится в известной степени и изучение предшественяет собой трехместное отношение (отношение субъекта к отношению модели и объекта) и которое можно обозначить так: $R[S,R(M,O)]$; 2. *создание мысленной модели* объекта (отношение $R^2(S,M)$), в процессе которого субъект мысленно выбирает или создает модель объекта; 3. *построение (или выбор) материальной модели* (отношение $R^3(S,M)$), которое выражает практическую реализацию мысленной модели (или ее практический выбор), и поэтому оно по своей природе резко отличается от $R^2(S,M)$; 4. *исследование модели* (отношение $R^4(S,M)$), в ходе которого субъект оперирует моделью как непосредственным предметом исследования; 5. *совершенствование модели* (отношение $R^5(S,M)$), в процессе которого субъект, обладая новым знанием, совершенствует модель, или создает новую, чтобы с ее помощью получить более точные знания об объекте моделирования.

2.3. „Информационные” процессы моделирования. Данные отношения одновременно являются проявлениями деятельности субъекта моделирования, ее формами. Эти формы деятельности субъекта в конечном счете направлены на получение новой информации о моделируемом объекте. Поэтому деятельность субъекта моделирования может быть охарактеризована и с точки зрения логики. А. А. Зиновьев и И. И. Ревзин именно с этой точки зрения определяют понятие модели: „Пусть X есть некоторое множество суждений, описывающих (фиксирующих) соотношения элементов некоторых сложных объектов A и B . . . Пусть, далее, Y есть некоторое множество суждений, получаемых путем изучения A и отличных от суждений X . . . Пусть, наконец, Z есть некоторое множество суждений, относящихся к B и также отличных от X . Если Z выводится из конъюнкции X и Y по правилам логики, то A есть модель для объекта B , а B есть оригинал модели A .”²³ Согласно этому К. Д. Вюстнек выражает модель следующей формулой:²⁴

$$X \cdot Y \longrightarrow Z \quad (I)$$

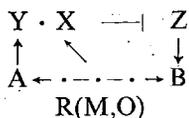
где \cdot обозначает конъюнкцию.

В связи с данным определением понятия модели мы отметим следующие: Во-первых, формула Вюстнека не выражает ясно смысл употребляемых

²³ А. А. Зиновьев, И. И. Ревзин: Логическая модель как средство научного исследования, „Вопросы Философии”, 1960, № 1., стр. 82.

²⁴ К. Д. Вюстнек: ук. соч., стр. 1510.

терминов и вследствие этого сущность определения *Зиновьева* и *Ревзина*, да и самого моделирования. На наш взгляд, данное определение понятия модели и вместе с этим сущность процесса моделирования с данной точки зрения можно выразить так:



где ---| — знак выводимости, а стрелка (---) обозначает ход информации.

Во-вторых, сущность процесса моделирования с точки зрения логики, действительно, можно сформулировать так, что S_M в ходе отношения $R^2(S,O)$ переносит информацию, полученную в процессе $R^4(S,M)$ о M , на O_M , при этом используя также знание, полученное в ходе $R[S,R(M,O)]$ об отношении $R(M,O)$; вследствие этого он получает некоторое новое знание об O_M , которое в ходе $R^4(S,O)$ включает в систему знаний об O_M . В процессе данных операций, однако, S_M использует не только знание о $R(M,O)$ и о M , но также уже имеющиеся знания об O_M . Поэтому, по нашему мнению, ход мыслей *А. А. Зиновьева* и *И. И. Ревзина* можно рассмотреть и несколько по-иному. Пусть Z_0 есть множество знаний, полученных об O_M в ходе $R^1(S,O)$, X_0 — множество знаний, полученных о $R(M,O)$ в процессе $R[S,R(M,O)]$, а Y_0 — множество знаний, полученных о M в ходе $R^1(S,M)$. S_M на основе X_0 , Y_0 и Z_0 построит в ходе $R^2(S,M)$, и может быть в ходе $R^3(S,M)$ модель M , о которой в ходе $R^4(S,M)$ он получает некоторое новое знание, и таким образом его знания о M обогащаются, углубляются, то есть Y_0 преобразуется в Y_1 . S_M , обладая Y_1 , с одной стороны обогащает свои знания о $R(M,O)$, то есть X_0 переходит в X_1 , и с другой стороны он переносит Y_1 на O_M , проверяет его и включает в систему знаний об O_M , то есть Z_0 также преобразуется в Z_1 .

Все это можно схематически выразить так:

$$\begin{array}{ll}
 1. & R^1(S,O): \quad O_M \text{---|} Z_0 \\
 2. & R[S,R(M,O)]: \quad R(M,O) \text{---|} X_0 \\
 3. & R^1(S,M): \quad M \text{---|} Y_0 \\
 4. & \left. \begin{array}{l} R^2(S,M) \\ R^3(S,M) \end{array} \right\}: \quad X_0 \cdot Y_0 \cdot Z_0 \text{---|} M \quad (2)
 \end{array}$$

$$5. \quad R^4(S,M): \quad Y_0 \text{---|} Y_1 \quad (3)$$

$$\begin{array}{ll}
 6. & \left. \begin{array}{l} R^2(S,O) \\ R^3(S,O) \\ R^4(S,O) \end{array} \right\}: \quad \begin{array}{l} Y_1 \cdot X_0 \text{---|} X_1 \\ Z_0 \cdot X_1 \cdot Y_1 \text{---|} Z_1 \end{array} \quad (4) \quad (5)
 \end{array}$$

где ---| — знак выводимости, а формула (2) выражает создание (мысленной) модели, формула (3) — получение новой информации о модели в процессе ее исследования, а формула (5) — получение новой информации об объекте моделирования.

Все это дает нам возможность уточнить структуру моделирования, то есть видоизменить рис. 1. В связи с этим надо иметь в виду и следующие: 1. В процессе моделирования в некотором смысле изменяется и S_M , поскольку его зна-

ния об O_M обогащаются. В силу этого целесообразно отличать субъект, находящийся в начале моделирования (назовем это моментом t_0), от субъекта, находящегося в конце моделирования (назовем это моментом t_1), то есть S_{M10} от S_{M11} ; но с целью более простого обозначения мы используем вместо S_{M10} просто знак S_M , а вместо S_{M11} — S'_M . 2. Отношением $R^4(S, O)$ заканчивается только данный период моделирования; после этого S_M , имея Y_1 , совершенствует модель M , и с ее помощью изучает дальше O_M . Благодаря этому в нашей схеме имеет место также отношение $R^3(S, M)$. Таким образом, получается замкнутая система (см. рис. 2.), в которой всякое взаимодействие исходит из S_M и возвращается S_M .

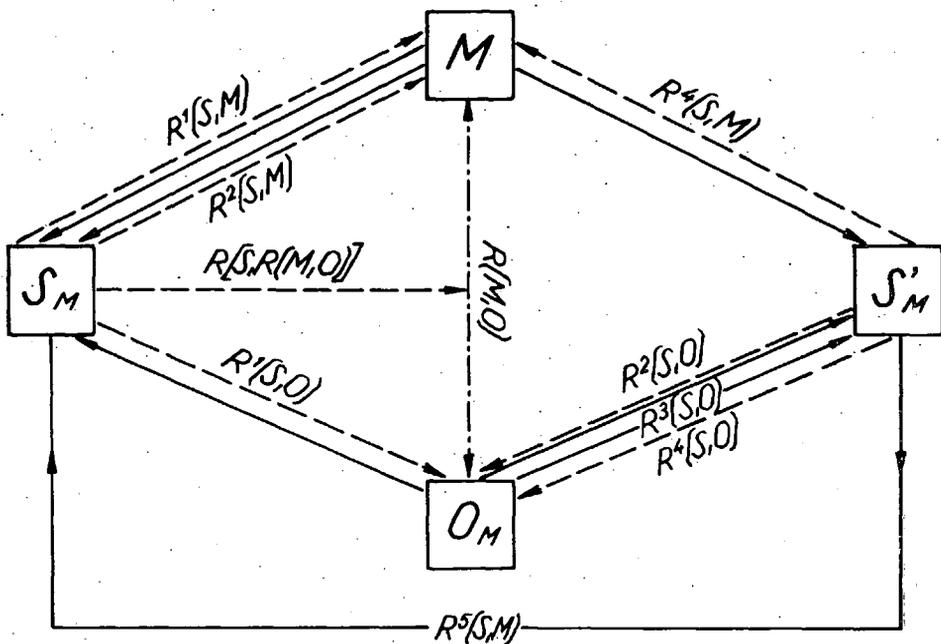


рис. 2.

Средства исследования находятся внутри данной структуры моделирования, опосредуя воздействие субъекта моделирования на моделируемый объект и на модель, и наоборот, воздействие моделируемого объекта и модели на субъект моделирования. В силу этого структура моделирования становится еще сложнее. Роль средства исследования особенно важна в процессе построения и изучения материальных моделей, так как в данном случае они как бы вклиниваются между субъектом моделирования и моделью, и вследствие этого не создается непосредственная взаимосвязь между моделью и субъектом моделирования.²⁵

²⁵ см. А. Кочонди: Взаимоотношение эксперимента и моделирования в научном познании, Acta Philosophica, X., Szeged, 1969.

Подводя итоги, мы можем установить, что между субъектом моделирования и моделируемым объектом с одной стороны, и между субъектом моделирования и моделью — с другой имеется многосторонняя и сложная система взаимосвязей. Структура метода моделирования в этом аспекте *содержит в себе именно систему данных элементов и их взаимоотношений.*

III.

Взаимоотношение модели и объекта моделирования

До сих пор мы рассматривали отношение субъекта моделирования и моделируемого объекта — с одной стороны, и отношение субъекта моделирования и модели — с другой, но не изучалось взаимоотношение модели и моделируемого объекта, хотя, как это показывает анализ понятия модели и структуры метода моделирования, одной из самых существенных гносеологических проблем данного метода научного познания является взаимоотношение между моделируемым объектом, то есть оригинальным, собственно предметом исследования, и моделью, то есть непосредственным предметом исследования, ибо оно образует основу, с одной стороны, построения или выбора модели, и с другой стороны переноса новой, т. н. модельной информации с модели на объект моделирования. Поэтому раскрытие сущности модели может осуществляться только на основе анализа данного отношения.

При рассмотрении отношения модели и моделируемого объекта необходимо иметь в виду прежде всего тот факт, что моделирование не предполагает — даже в случае материальных моделей материальных объектов — наличие вещественно-энергетического взаимоотношения, реальной связи между моделью и объектом моделирования. Между моделируемым объектом и моделью исследователь обнаруживает взаимосвязь в процессе научного исследования на основе их объективно существующих свойств и отношений. Следовательно, одним из самых существенных признаков взаимоотношения модели и моделируемого объекта является то, что оно представляет собой преимущественно не непосредственную, реальную, содержащую в себе материальное действие и противодействие предметов, связь, а является социально обусловленным взаимоотношением, опосредованным субъектом моделирования. Таким образом, для понимания сущности модели недостаточно уточнение ее отношение к объекту моделирования, а надо иметь в виду и то, что модель всегда предполагает присутствие познающего субъекта, который обнаруживает взаимосвязь между ней и моделируемым объектом, для которого один объект функционирует в качестве модели, а другой — в качестве объекта моделирования. Из этого следует, что понимание сущности модели требует точного выяснения ее места и роли в процессе научного познания. Из этого вытекает и то, что *о модели можно говорить только в процессе научного познания.* „Вне акта исследования — пишут *Б. А. Глинский, Б. С. Грязнов, Б. С. Дынин и Е. П. Никитин* — существуют лишь предметы и процессы, обладающие объективно присущими им свойствами, а не модели и оригиналы.”²⁶ Какой-то объект может стать моделью лишь вследствие того значения, которое исследователь придает ему как заместителю объекта моделиро-

²⁶ *Б. А. Глинский, Б. С. Грязнов, Б. С. Дынин, Е. П. Никитин: ук. соч., стр. 19.*

вания в процессе научного исследования, то есть модель не существует независимо от субъекта моделирования, она всегда создается (или выбирается) и используется субъектом моделирования.

Значит, модель существует не сама по себе, а лишь в своем отношении к моделируемому объекту и субъекту моделирования. „... к сущности понятия модели относится то, что в ней представлено отношение между тремя компонентами, что модель как таковая может быть определена только в отношении определенного оригинала и определенного «субъекта».”²⁷ Новая характерная черта отношения модели к объекту моделирования, следовательно, есть то, что *данное отношение само является элементом системы связей между моделью, объектом и субъектом моделирования*. Отношение модели и моделируемого объекта в этом понимании мы называем *модельным отношением*, или короче *М-отношением*, и обозначим так: $R(M, O)$. Следовательно, модельное отношение есть *особое отношение между моделируемым объектом и моделью, опосредованное субъектом*, которое является одним из компонентов трехместной системы связей.

Модельное отношение как конкретная связь представляет собой объективное соответствие между объектом и моделью, которое определяет субъект на основе их объективных свойств и отношений, и которое позволяет функционирование модели в качестве заместителя моделируемого объекта и средства его познания. Модель только в том случае выполняет свои гносеологические функции, если ее объективные свойства находятся в соответствии со свойствами объекта, а именно в первую очередь со свойствами его, существенными с точки зрения исследования. Другими словами: одним из основных условий моделирования является *наличие общих или сходных свойств у модели и объекта*; это является объективной стороной соответствия модели и объекта моделирования. „Если не допускать, что аналогичные предметы имеют не просто сходные, но тождественные свойства или отношения — пишет *А. И. Уемов* —, то нетрудно придти к выводу, что между ними вообще нет ничего общего.”²⁸ С данной точки зрения модель есть нечто иное, чем объект, находящийся в отношении соответствия с моделируемым объектом.

Однако, модель не только соответствует моделируемому объекту, но в то же время по сущности своей *и отличается от него*, а именно она должна отличаться от него прежде всего в тех свойствах, которые затрудняют или делают невозможным непосредственное изучение самого объекта познания, вследствие которых необходимо объект заменить моделью в процессе исследования. Если модель не отличалась бы от объекта, если она в каждом свойстве совпадала бы с моделируемым объектом, то она, как и сам оригинальный объект, не была бы способна открыть сущность объекта. В таком случае перед исследователем при изучении модели стояли бы такие же трудности, какие раньше стояли перед ним при исследовании самого объекта. Подчеркивание неизбежного различия между моделью и моделируемым объектом имеет значение и с другой точки зрения, так как учет данного различия не в малой степени облегчает положительное решение многих философских, мировоззренческих проблем, связанных с кибернетическим моделированием мозговых процессов, и внутри них некоторых функций человеческого мышления. Поэтому небезынтересно отметить и то, что модели могут отличаться от моделируемого объекта не только

²⁷ *К. Д. Вюстник*: ук. соч., стр. 1514.

²⁸ *А. И. Уемов*: Аналогия в практике научного исследования, М., Изд-во „Наука”, 1970., стр. 252.

в вышеупомянутых свойствах, то есть в свойствах, затрудняющих непосредственное изучение объекта, а в ряде других свойств (например, в их вещественной, физической природе, в их субстрате). Особенно четко выделяется данное отличие у знаковых моделей (у абстрактных математических, логических моделей), ведь знак по сути своей не предполагает сходство обозначаемому объекту.

Одновременно различие модели и моделируемого объекта не может быть слишком большим: в противоположном случае не был бы возможен перенос знания, полученного при моделировании, на объект моделирования, или достоверность знания стала бы ненадежной. Значит, модель должна обладать некоторыми свойствами объекта, прежде всего теми, познания которых является целью и задачей данного периода исследования. Поэтому то, что каким элементам и отношениям объекта должна соответствовать модель, зависит не только от объекта моделирования, но и от целей, которые преследуются в данный период исследования; в этом выражается, между прочим, субъективная сторона соответствия модели и объекта. Субъект выбирает те свойства объекта, которыми модель должна обладать, и которыми она должна или может отличаться. Все это, конечно, относится и к знаковым моделям, то есть они также не абсолютно отличаются от моделируемого объекта, а отношения между знаками внутри модели (то есть структура модели) должны соответствовать отношениям между элементами и подсистемами моделируемого объекта (то есть его структуре).

На основе вышесказанного видно, что *отношение модели к объекту различно*: с одной стороны модель обладает общими с объектом свойствами, а с другой стороны она неизбежно отличается от моделируемого объекта. „... когда модель становится слишком «точной» — пишет В. А. Штофф —, она теряет свой смысл, она перестает быть моделью, когда же она несовершенна, она источник ошибок.”²⁹ Все это означает, что *для модельного отношения характерно не тождество, а соответствие*. Данное соответствие может выражаться в более простых случаях в геометрическом сходстве форм объектов, а в других случаях — в инвариантности физических закономерностей, или в тождестве математических уравнений, описывающих разные процессы, далее, в совпадении некоторых функций, в сходный поведениях и т. д.

Под *соответствием* понимается объективное отношение, которое устанавливает субъект между элементами и отношениями систем на основе их общих свойств. В самом общем смысле между двумя системами соответствие имеет место тогда, когда одна из них так или иначе может быть присоединена к другой. „Таким образом — пишут А. А. Зиновьев и И. И. Ревзин —, объект В соответствует объекту А, если выполняется следующее: если мы выбрали объект А из некоторого данного множества объектов и если затем, вынужденные выбрать некоторый объект из другого множества объектов, мы выбираем именно объект В.”³⁰ Можно различать разные виды соответствия: А соответствует В, но В не соответствует А (одностороннее соответствие); А соответствует одному и только одному В (однозначное соответствие); А соответствует В и В соответствует А (взаимное соответствие); А соответствует одному и только одному В и В соответствует одному и только одному А (взаимнооднозначное или одно-однозначное соответствие).³¹ В данных случаях соответствие имеется между двумя объектами (или между двумя элементами систем); но когда речь идет о моде-

²⁹ В. А. Штофф: О роли моделей в познании, Изд-во Ленинградского Университета, 1963., стр. 49—50.

³⁰ А. А. Зиновьев, И. И. Ревзин: ук. соч. стр. 84.

³¹ там же

лировании всегда принимается во внимание соответствие систем, а также их элементов и отношений. В данном аспекте можно различать следующие основные виды соответствия модели и моделируемого объекта:

а) *аналогия модели объекту моделирования*: Под аналогией обычно понимается одна из особых форм тождества, когда между двумя объектами или их определенными свойствами имеется сходство. А в современной математической логике под аналогией понимают сходство не столько между свойствами объектов, сколько между их элементами и отношениями. Так, например, Д. Пойа одним из основных видов или типов аналогии считает сходство отношений,³² а В. А. Штофф называет аналогией сходством структуры.³³ Надо иметь в виду и то, что сходство может быть между функциями систем (или между поведением разных систем), и при моделировании сложных динамических систем именно сходство функций является существенным. В связи с этим Г. Клаус выделяет четыре различных ступени аналогии. „Две системы S_1 и S_2 могут:

а) достигать одинаковых результатов на основе различного принципа функционирования;

б) достигать одинаковых результатов на основе одинакового способа поведения;

в) достигать одинаковых результатов на основе одинакового способа поведения, возникшего в результате одинаковой структуры;

г) достигать одинаковых результатов на основе одинакового способа поведения, одинаковой структуры и одинаковости материала, из которого построена эта структура.”³⁴

На основе предыдущего в дальнейшем под аналогией понимается *сходство элементов и отношений* (то есть структуры), а также *сходство функций двух систем*. Однако надо отметить, что при моделировании не обязательно существует аналогия во всех трех отношениях, то есть модельное отношение обычно не содержит в себе одновременно сходство элементов, отношений и функций.

в) *Изоморфизм между моделью и моделируемым объектом*: При рассмотрении отношения модели и объекта необходимо иметь в виду и то, что модельное отношение во многих случаях включает в себя точнее, чем аналогия, соответствие. Таким видом соответствия является изоморфизм модели и моделируемого объекта. Две системы изоморфны друг с другом, если элементы одной системы однозначно соответствуют элементам другой системы, и наоборот, и если отношения между элементами первой системы однозначно соответствуют отношениям между элементами второй системы, и наоборот. Следовательно, системы S и S' изоморфны, если 1. каждому элементу системы S соответствует один и только один элемент системы S' , и наоборот; 2. каждому отношению системы S соответствует одно и только одно отношение системы S' , и наоборот; и 3. если определенные элементы (a, b, c, \dots) системы S находятся друг к другу в отношении R , то соответствующие элементы (a', b', c', \dots) системы S' находятся друг к другу в соответствующем отношении R' отношении R' и наоборот. Таким образом, если между моделью и моделируемым объектом имеется изоморфизм, то каждый элемент модели однозначно соот-

³² Д. Пойа: Математика и правдоподобные рассуждения, М., И. Л., 1957, стр. 48—49,

³³ В. А. Штофф: Моделирование и философия, стр. 139.

³⁴ Г. Клаус: Кибернетика и философия, стр. 67.

ветствует элементам объекта моделирования и каждое отношение элементов модели однозначно отображает отношение между элементами моделируемого объекта. Иными словами: M -отношение изоморфное тогда, когда имеется функция f , согласно которой каждому элементу системы O соответствует один и только один элемент системы M , и каждому отношению в системе O соответствует одно и только одно отношение в системе M . Вследствие того, что изоморфизм создает взаимнооднозначное соответствие между данными двумя системами, всегда имеет место и *инверс. функции* f , то есть функция f^{-1} , согласно которой каждому элементу системы M соответствует один и только один элемент системы O , и каждому отношению в системе M соответствует одно и только одно отношение в системе O . Из этого следует, что модельное отношение и свойство „быть моделью” при изоморфизме является симметричным³⁵, то есть любую из двух систем можно рассматривать в качестве модели другой системы.

у) *Гомоморфизм между моделью и моделируемым объектом*: Из вышеизложенного вытекает, что для осуществления моделирования и гносеологических функций модели модельное отношение не всегда должно быть изоморфным, а часто достаточно относительно более слабая форма соответствия — гомоморфизм, являющийся обобщением изоморфизма. Если изоморфизм предполагает взаимнооднозначное (одно-однозначное) соответствие между двумя системами, то для осуществления гомоморфизма достаточно однозначное соответствие между ними. Значит, гомоморфизм есть соответствие между двумя системами, согласно которому каждому элементу одной системы соответствует один и только один элемент другой системы, и каждому отношению первой системы соответствует одно и только одно отношение второй системы. Следовательно, системы S и S' гомоморфны, если 1. каждому элементу системы S соответствует один и только один элемент системы S' ; 2. каждому отношению системы S соответствует одно и только одно отношение в системе S' ; и 3. если между определенными элементами (a, b, c, \dots) системы S имеется определенное отношение R , то между соответствующими элементами (a', b', c', \dots) системы S' имеется соответствующее отношению R отношение R' , (но вообще не наоборот). Это значит, поскольку M -отношение является гомоморфным, постольку между системами M и O имеется функция f , но в то же время наличие функции f^{-1} не нужно. Таким образом, при гомоморфном отображении модельное отношение и свойство „быть моделью” не является симметричным.³⁶

* * *

Так как для модельного отношения обычно характерен изоморфизм или гомоморфизм модель можно считать особым образом моделируемого объекта. Она является образом объекта моделирования, поскольку между элементами и отношениями модели и моделируемого объекта находится *однозначное соответствие* (то есть элементы и отношения объекта моделирования как бы повторяются, выражаются, воспроизводятся в элементах и отношениях модели, его структура отражается в измененной — вообще упрощенной — форме в ее структуре); а образом особого рода — поскольку данное

³⁵ см. Ю. Гастев: Модель, „Философская Энциклопедия”, т. 3., М., 1964, стр. 481.

³⁶ см. Ю. Гастев: Изоморфизм, „Философская Энциклопедия”, т. 2., М., 1962, стр. 248.

соответствие в большинстве случаев имеет чисто формальный характер. Но именно формальный характер модельного отношения позволяет перенести новую информацию, полученную в результате моделирования, с модели на моделируемый объект, и обеспечивает достоверность модельного знания, получаемого таким путем об объекте моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амосов Н. М.: Моделирование мышления и психики, Изд-во „Наукова думка” Киев, 1965.
2. Бернал Дж.: Возникновение жизни, Изд-во „Мир”, М., 1969.
3. Гастев Ю.: Изоморфизм, „Философская Энциклопедия”, т. 2., М., 1962.
4. Гастев Ю.: Модель, „Философская Энциклопедия”, т. 3., М., 1964.
5. Глинский Б. А., Грязнов Б. С., Дынин Б. С., Никитин Е. П.: Моделирование как метод научного исследования (Гносеологический анализ), Изд-во Московского Университета, М., 1965.
6. Зиновьев А. А., Ревзин И. И.: Логическая модель как средство научного исследования, „Вопросы Философии”, 1960, № 1.
7. Клаус Г.: Кибернетика и философия, И. Л., М., 1963.
8. Клаус Г.: Кибернетика и общество, Изд-во „Прогресс”, М., 1967.
9. Кочонди А.: Взаимоотношение эксперимента и моделирования в научном познании, Acta Philosophica, X., Szeged. 1969.
10. Михайлова И. Б.: Методы и формы научного познания, Изд-во „Мысль”, М., 1968.
11. Морозов К. Е.: Математическое моделирование в научном познании, Изд-во „Мысль”, М., 1969.
12. Никитин Е. П.: Объяснение — функция науки, Изд-во „Наука”, М., 1970.
13. Новик И. Б.: О моделировании сложных систем (Философский очерк), Изд-во „Мысль”, 1965.
14. Поля Д.: Математика и правдоподобные рассуждения, И. Л., М., 1957.
15. Рузавин Г. И.: Фундаментальный труд по методологии научного исследования, „Вопросы Философии”, 1971. № 1.
16. Уемов А. И.: Аналогия в практике научного исследования (Из истории физико-математических наук), Изд-во „Наука”, М., 1970.
17. Фролов И. Т.: Гносеологические проблемы моделирования биологических систем, „Вопросы Философии”, 1961. № 2.
18. Штофф В. А.: Роль моделей в познании, Изд-во Ленинградского Университета, Л., 1963.
19. Штофф В. А.: Об особенностях модельного эксперимента, „Вопросы Философии”, 1963. № 9.
20. Штофф В. А.: Модель и эксперимент, Сб. „Некоторые вопросы методологии научного исследования”, Изд-во Ленинградского Университета, Л., 1965.
21. Штофф В. А.: Моделирование и философия, Изд-во „Наука”, М.—Л., 1966.
22. Kendrew J. C.: Az élet fonala (Bevezetés a molekuláris biológiába), Gondolat, Bp., 1968.
23. Kocsondi A.: A tudományos modellek és a modell-módszer fogalmáról, „Magyar Filozófiai Szemle”, 1970. 5.
24. Watson J. D.: A kettős spirál (Személyes beszámoló a DNS szerkezetének felfedezéséről), Gondolat, Bp., 1970.
25. Wüstneck K. D.: Zur philosophischen Verallgemeinerung und Bestimmung des Modellbegriffs, „Deutsche Zeitschrift für Philosophie”, 1963. 12.

THE STRUCTURE OF SCIENTIFIC MODELLING

After a brief description and definition of the concept of scientific models and the model method, the author examines the structure of modelling from two points of view: on the one hand, he analyzes the structure of modelling as that of research procedure and, on the other hand, as that of the system of the elements of modelling. Accordingly, division I. describes the basic phases of the procedure of modelling which, according to the author, are the following: the question of the necessity of modelling; the theoretical preparation of modelling, the creation (selection) of the model; the study of the model; the transference of knowledge to the object of modelling; knowledge control and proof; the building of the new knowledge into the system of scientific theory. In division II., the author first characterizes the elements of modelling which are the following: 1/ the object of modelling, which can be both of material or ideal nature; 2/ the subject of modelling, which is one or some elements of the subject taken in the gnoseological sense; 3/ the model which can also be of both material and of ideal nature, furthermore, it can be a natural or artificial object; 4/ the means of research, which transfer the influence of the subject to the object and the model, respectively. Afterwards, the author treats the relations among these elements, then analyzes the structure of modelling from a logical point of view. Finally, division III. contains a detailed analysis of the relation between model and object.

