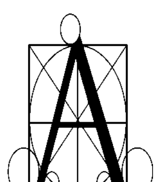


Edited by
S.A. Lebedev

Textbook

PHILOSOPHY OF MATHEMATICS AND TECHNICS

Moscow
Academic Project
2020

Учебное
пособие для вузов

Под общ. ред.
С.А. Лебедева

ФИЛОСОФИЯ МАТЕМАТИКИ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Допущено УМО вузов по университетскому политехническому образованию Министерства образования и науки РФ в качестве учебного пособия для студентов, соискателей и аспирантов технических специальностей

Москва
Академический Проект
2020

УДК 1/14; 16
ББК 87; 87.4
Ф 56

АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ:

С.А. Лебедев (руководитель авт. колл.) — доктор филос. наук, профессор — Введение, гл.4 (часть I), гл. 7 (часть I), гл. 1, 2 (часть II).
А.Д. Гетманова — доктор филос. наук, проф. — Приложение.
А.А. Григорян — кандидат филос. наук, доц. — гл. 4 (часть I), гл. 7 (часть I).
Е.А. Жукова — кандидат филос. наук, доц. — гл. 3 (часть II).
В.П. Казарян — доктор филос. наук, проф. — гл. 5 (часть I).
И.В. Мелик-Гайказян — доктор филос. наук, проф. — гл. 6 (часть I), гл. 3 (часть II).
В.Я. Перминов — доктор филос. наук, проф. — гл. 1,2,3 (часть I).
Н.М. Твердынин — кандидат техн. наук, доц. — гл. 1,2 (часть II).
П.Д. Тищенко — доктор филос. наук, проф. — гл. 4 (часть II).

Ф 56 **Философия** математики и технических наук / Под общ. ред. проф. С.А. Лебедева: Учебное пособие для вузов. — М.: Академический Проект, 2020.— 779 с.— («*Gaudeamus*»).

ISBN 978-5-8291-3044-2

В учебном пособии анализируются современные философские проблемы математики, информатики, технических наук и логики. Книга написана профессорами МГУ им. М.В. Ломоносова и других российских вузов. В пособии раскрываются предмет, структура и закономерности математики, информатики, технических и технологических наук, их взаимосвязь с философией, эксплицируются философские основания этих областей знания и предлагаются решения их актуальных философских проблем. Учебное пособие адресовано прежде всего аспирантам технических и математических специальностей для подготовки к сдаче кандидатского минимума по истории и философии науки, а также студентам, преподавателям, научным сотрудникам, всем, кто интересуется современными проблемами философии науки.

Subject matter of the textbook is modern philosophy of technics, mathematics and informatics. The book contains two parts: the philosophical problems of mathematics and informatics and the philosophical problems of technics. The subject of addition is formal logic and its philosophical problems. Authors of the textbook are professors of Lomonosov Moscow State University and other Russian higher-schools. The book is addressed to magisters, teachers, researchers and all, who are interested in the different fields of the modern philosophy of science.

УДК 1/14; 16
ББК 87; 87.4

ISBN 978-5-8291-3044-2

Введение

ФИЛОСОФИЯ МАТЕМАТИКИ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Важность и актуальность обсуждения философских проблем математики и технических наук прямо пропорциональна той роли, которую играют эти науки в общей структуре современного научного знания. Именно математика обеспечивает все другие науки строгим, количественным языком описания и моделирования своих объектов. Однако необходимо констатировать, что в самой математике имеется много нерешенных, или не до конца решенных, или по-разному решаемых философских проблем. К числу этих проблем относятся как традиционные для философии математики вопросы о ее предмете, природе математического знания (как оно возможно), о закономерностях ее развития, так и более современные: проблема критериев строгости, надежности и эффективности разных видов математического знания и разных математических методов; проблема единства того огромного разнообразия областей и методов современного знания, которое именуется «математикой», проблема нахождения тех общих необходимых и достаточных признаков, которым должно удовлетворять любое знание, претендующее на статус математического. Остановимся более подробно только на рассмотрении такой центральной философской проблемы математики, как предмет математики.

Трудности достижения согласия по этой проблеме вызваны не только неоднозначным характером взаимоотношения математики и реальности, возможности интерпретации математического познания с различных гносеологических позиций (например, эмпиризма, априоризма или конструктивизма). Эти разногласия вызваны также различными исследовательскими традициями, исторически сложившимися в самой математике и постоянно воспроизводящими себя. Например, математическая школа А. Пуанкаре с ее нацеленностью на понимание математики, как имеющей свой главный источник в проблемах других областей знания, естествознания, технических наук, практики и необходимости нахождения для этих проблем их математического описания. Или, например, школа Д. Гильберта с ее акцентом на решение проблем обоснования содержательных математических теорий путем их формализации и выявления тем самым «их подлинной математической сущности». Можно указать и на сосуществование в современной математике таких ее конкурирующих исследовательских программ, как аксиоматизм (в частности, логицизм), конструктивизм, эмпиризм, интуиционизм. Однако, как показывает опыт, ни одна школа или исследовательская традиция в математике не покрывает полностью ее разнообразного и богатого содержания. Так, например, с точки зрения понимания математики как науки о различного рода абстрактных аксиоматических структурах (Н. Бурбаки), как науки о возможных типах отношений между объектами любого рода большая часть прикладной математики, а также вычислительной математики сюда явно не укладывается.

Не менее трудная философская проблема возникает и в вопросе о соотношении (тождестве и различии) между прикладной и вычислительной математикой, не говоря уже о соотношении их обеих с «чистой» математикой. Довольно трудно понять, что их всех объединяет под одной крышей, именуемой «математика». В этой связи так и напрашивается социологический ответ на этот вопрос: математикой является все, чем занимаются математики. Однако этот ответ является столь же простым, сколь и неверным или по крайней мере неоднозначным, ибо математики занимаются очень многим и как просто ученые, и как организаторы, и как люди, что часто непосредственно к самой математике никакого прямого отношения не имеет. Даже если признать одинаковую правомерность и относительную самостоятельность всех трех видов математики — «чистой», прикладной и вычислительной, то все равно может возникнуть вопрос о их соотношении в плане первичности – вторичности, фундаментальности – производности и т. п. С другой стороны, сходство между всеми указанными выше видами математики столь зыбко, что с таким же успехом в разряд математических наук можно было бы включить, скажем, современную теоретическую (математическую) физику, или биологию, или даже математическую экономику и демографию. Ведь во всех этих науках существенным образом используется язык определенных разделов «чистой» математики (в частности, математического анализа и теории вероятностей). И все же какая-то интуиция удерживает нас от зачисления этих наук по ведомству математики.

Как известно, И. Кант, исходя из априористских идей своей философии, утверждал, что в каждой области знания столько науки, сколько в ней математики. Может быть, сегодня настало время сказать нечто прямо противоположное: «В каждой «математике» столько математики, сколько в ней науки», подчеркивая тем самым чисто служебную (сервисную) роль математики по отношению к науке, что находит свое выражение в концепции, согласно которой математика — это язык **науки** («Книга природы написана Богом на языке математики». — *Г. Галилей*). Но что тогда есть научное знание в отличие от ненаучного или вненаучного знания (например, обыденного, мифологического, религиозного, художественного, наконец, философского)? Ясно, что понятие «научное знание» не может быть отождествлено с понятием «логически доказательное знание» (синонимы «дедуктивно организованное» или «аксиоматическое знание»), ибо иначе придется отказать в статусе научного тому огромному массиву знания, которое заведомо не является дедуктивно-организованным. В реальной науке под «научным знанием» обычно имеют в виду множество высказываний об определенной предметной области, которые являются достаточно определенными (строгими, однозначными) и проверяемыми (подтверждаемыми или опровергаемыми эмпирическим опытом). Дедуктивно же или аксиоматически организованным знанием является лишь небольшая часть научного знания. Это логические и математические теории (да и то далеко не все), а также отдельные естественнонаучные теории (в основном из области теоретической физики). Древневосточная геометрия и арифметика также не были дедуктивными теориями. Таковой не является и современная конструктивная математика, теории которой построены не с помощью дедуктивного, а с помощью генетическо-конструктивного метода и математической индукции. Идея отождествления математики с дедуктивно-организованным (логически доказательным) знанием была, как известно, высказана Р. Декартом. Исходя из такого понимания математики, он включал в нее не только геометрию, арифметику и алгебру, но и механику, а также оптику и астрономию, полагая, что и большинство других наук впоследствии должны стать частью математики. Декартовское понимание математики вело к тому, что в разряд математических теорий попадали и теология (например, в понимании средневековых схоластов или Ф. Аквинского) и философия (например, дедуктивно построенная «Этика» Б. Спинозы). Однако с интуитивной точки зрения, а также массовой практики употребления термина «математика» большинством математиков и представителей других областей знания декартовское понимание было явно неприемлемо. С другой стороны, если вернуться к такому направлению современной математики, как вычислительная математика, то такие ее проблемы, как, например, проблема искусственного интеллекта, искусственной жизни или виртуальной реальности, их описание и предлагаемые решения гораздо ближе не к аксиоматическим теориям «чистой» математики, а скорее к проблемам современной теоретической физики типа теории суперструн или, например, синергетики. Видимо, все же следует признать, что у математики имеется какой-то свой, особый предмет, отличный от предметов других наук, а не только свой метод, будь то аксиоматический, дедукция или математическая индукция, генетическо-конструктивный или формализация и др.

Может быть, стоит вернуться к традиционному философскому определению математики как науки о количественных отношениях и пространственных формах реального мира? Такое понимание предмета математики было почти общепризнанным в XVIII — первой половине XIX в. Однако именно оно же являлось главным препятствием принятия математиками XIX в. неевклидовых геометрий в качестве полноценных математических теорий. А до этого с позиций такого понимания предмета математики трудно было обосновать правомерность иррациональных и комплексных чисел в качестве полноценных математических объектов, как позже — огромное разнообразие математических структур и теорий, которые были порождены чисто конструктивной мыслью математиков, первоначально вне всякой непосредственной связи с какими-либо эмпирическими и практическими проблемами (теория групп, теория множеств Г. Кантора, топология и т. д. и т. п). Традиционное понимание предмета математики очевидно препятствовало также различению геометрии как физики и геометрии как математики. А это различие по праву считается одним из фундаментальных результатов в области философии математики (Д. Гильберт, П. Рашевский и др.). Именно оно послужило философским основанием принятия различных неевклидовых геометрий в качестве полноценных математических теорий, а не только как полезных, но все же фиктивных («воображаемых») математических конструктов.

Распространенными определениями предмета математики являются следующие: «численные отношения и пространственные формы» (А.Н. Колмогоров и др.), «количественные свойства и отношения» (С.А. Яновская и др.), «чистые формы» (П.С. Александров), «абстрактные структуры» (Н. Бурбаки), «различные математические многообразия» (Б. Риман, С. Ли и др.), «возможные миры» и т. д. Все эти определения предмета математики в принципе переводимы друг в друга при небольших уточнениях и обозначают по своему объему примерно одно и то же. А именно: либо общие формы реальных предметов в максимально полном отвлечении от их содержания, либо возможные формы различных предметов, либо чисто количественные свойства и отношения предметов в противоположность их качественным. Если последние — это те, которые отличают одну вещь от другой, то количественные отношения суть те, которые могут быть общими у разных вещей, они относительно безразличны к их конкретному содержанию. Конечно, при этом нужно помнить, что сами понятия «качество» и «количество» и соответствующее им содержание являются: а) соотносительными и б) относительными понятиями, имеющими свой точный смысл только в конкретном противопоставлении одного (выступающего в некотором конкретном контексте как «количество») другому (выступающему в этом же контексте как «качество»). В других контекстах и других противопоставлениях они могут поменяться именованиями. Например, число предметов некоторого качества (допустим, электронов) является их количественной характеристикой. Но как число определенного вида (а именно натуральное), оно обладает определенным качеством, отличающим натуральные числа от других видов чисел (рациональных, действительных) или от других математических объектов (скажем, точек, линий, функций и т. д. и т. п.). Необходимо при этом помнить, что современная математика в отличие, скажем, от математики, которая существовала до середины XIX в., исследует такие высокоабстрактные (идеальные) сущности и отношения между ними, которые, как правило, являются не результатом количественного абстрагирования от конкретных объектов, данных в эмпирическом опыте, а результатом чисто конструктивной деятельности математического мышления.

Современная математика и как результат длительного исторического развития, и как результат конструктивной деятельности современных математиков, и, наконец, как результат многочисленных содержательных связей математики с другими науками и областями практической деятельности и по своему предмету, и по своей структуре (внутренней архитектонике) представляет собой очень сложную и весьма гетерогенную по содержанию систему проблем, теорий, дисциплин и разделов. Благодаря этой сложности и огромному содержательному разнообразию предмет и метод современной математики не может быть охвачен каким-то простым и ясным определением, которое выражало бы некоторую ее единую сущность, ибо сама эта сущность многообразна и системна. Здание современной математики напоминает скорее многоэтажное и многоквартирное сооружение с четко выраженной вертикальной и горизонтальной структурой. Ее вертикальные плоскости (чистая и прикладная математика, содержательные и формализованные теории, общие и частные математические структуры) и горизонтальные ячейки (например, арифметика, геометрия, алгебра, анализ в содержательном виде или те же теории на другом «этаже», но уже в формализованном исполнении) связаны между собой различными и многообразными отношениями, обеспечивающими переход с одного уровня, «этажа» математики на другой или из одной горизонтальной ячейки («квартира», «комната») в другую. Примером перехода вертикального (межэтажного) типа может служить подъем от содержательной геометрии к ее формализованной модели или, напротив, спуск от дистрибутивной структуры с дополнениями к исчислению высказываний в классической математической логике. Примером связи горизонтального типа между различными математическими теориями одного уровня может служить переход от геометрии к алгебре и обратно с помощью аппарата аналитической геометрии. Создателем такого перехода явился, как известно, Р. Декарт.

Эта разветвленная система вертикальных и горизонтальных связей внутри математики обеспечивает чрезвычайно высокую степень устойчивости и надежности всего корпуса математики как весьма разнообразной по содержанию, методам и вместе с тем единой науки. Все «этажи», «квартиры» и «комнаты» здания математики, включая ее «подвал» (область математической интуиции) одинаково важны и нужны в математике. Этот объемный образ математики как целостности должен предостеречь нас от двух ошибок. Во-первых, от попыток (неоднократно имевших место и в самой математике, и в философии математики) противопоставления одних видов и теорий математики как более подлинных, «более математических» другим ее видам и областям (например, противопоставления арифметики и геометрии). Во-вторых, от стремления свести, полностью редуцировать одни математические теории к другим. Все такого рода программы глобального редукционизма в математике, задуманные их создателями как средство доказательства единства математического знания (логицизм, формализм, интуиционизм, конструктивизм, аксиоматизм, теоретико-множественный редукционизм) не выдержали проверки временем. Хотя необходимо вместе с тем отметить, что в ходе реализации самих этих программ было получено немало интересных и важных для математики и ее понимания результатов общего и частного характера (как положительных, так и отрицательных). В этой связи достаточно упомянуть хотя бы результаты К. Геделя о невозможности абсолютно полной формализации любой из содержательных математических теорий, даже такой простой, как арифметика натуральных чисел. Или теорию типов Б. Рассела как главное, с его точки зрения, средство для математики избежать непредикативных определений и соответственно целого класса логических и семантических парадоксов. Все многообразие направлений, теорий и видов математического знания имеет свою особую ценность, выполняя важную и необходимую роль в функционировании и развитии математики как целого. Математика как связанное разнообразие различных математических теорий является главным внутренним источником своего собственного развития, когда новые математические теории часто возникают благодаря переносу, «пересадке» идей и методов из одной области математики для решения проблем в другой области (например, дифференциальная геометрия появилась как результат «скрещивания» дифференциального исчисления и геометрии и т. д.).

Конечно, не менее важным фактором развития математического знания является и «внешний» для нее заказ со стороны других наук по построению математических моделей для описания и решения проблем этих наук, а также различных областей практической деятельности. Чисто интерналистская или чисто экстерналистская модель развития математики явно не проходят. Об этом убедительно свидетельствует сама реальная история математики.

С философской точки зрения важно подчеркнуть также то обстоятельство, что учет всего богатства и разнообразия математического знания, а также факт его постоянного развития, не позволяют втиснуть его в рамки любых логически возможных или априорных философских требований. Ценность любой математической теории, равно как и всех других видов и результатов когнитивной деятельности человека, никогда не абсолютна, а лишь относительна, и прежде всего по отношению к конкретным теоретическим и практическим целям. А последние, как известно, могут быть самыми разными, ибо «древо жизни вечно зеленеет». Такова его сущность. В этой связи необходимо подчеркнуть, что и предмет, и структура математики не являются чем-то постоянным, застывшим, вневременным, вечным и априорным. Они меняются по мере исторического развития математики, отражая в себе господствующие потребности, возможности и творческий потенциал реально живших и действовавших математиков. Математика как система способна к изменению своего предмета и своей структуры во времени. Благодаря творческой деятельности математиков происходит ее переструктурирование в соответствии с потенциальными возможностями реально существующей математической структуры, задается определенный интервал, сектор и направление ее возможной эволюции. Так, в реальной истории математики имело место несколько точек бифуркации, несколько качественных скачков, в результате которых предмет и структура математики приобретали существенно иной вид. Первая революция в предмете математики произошла в 7—4 вв. до н. э. в Древней Греции. Это был переход от предмета математики как количественных отношений реальных эмпирических объектов к пониманию в качестве предмета математики количественных идей или идеальных математических объектов. Именно на этом пути античными математиками была создана евклидова геометрия. После этого, как отмечал А.Н. Колмогоров (статья «Математика» в Большой Советской энциклопедии), математика продолжала иметь в качестве своего предмета некие постоянные величины и соотношения, отвлекаясь от описания их изменения. Второй этап, связанный с выработкой нового понимания предмета математики, приходится на XVII—XIX вв. Это — математика переменных величин, вызванная к жизни необходимостью математического описания движения в механике, физике и технике. Следующее революционное изменение предмета математики произошло уже во второй половине XIX в. Решающим толчком в этом процессе явилось открытие и принятие неевклидовых геометрий в качестве полноценных математических теорий, а затем и других высокоабстрактных, непротиворечивых , но не имеющих непосредственного происхождения из опыта математических построений. Этот этап в развитии математики привел к истолкованию в качестве ее предмета любых абстрактных (мысленных) структур, которые логически непротиворечивы, имеют нетривиальное математическое содержание и эффективно помогают решать как старые математические проблемы, так и ставить и решать новые, способствуя тем самым дальнейшему приращению математического знания. Благодаря тому что математика является эволюционирующей во времени структурой как в содержательно-предметном, так и в методологическом отношениях, очень трудно предсказать ее предмет в достаточно отдаленном будущем. Например, даже самые проницательные математики и философы начала XX в. не могли предвидеть появление нового и набирающего огромные обороты такого направления современной математики как вычислительная математика. И содержание, и методы, и проблемы вычислительной математики, за которой, безусловно, огромное будущее, существенно отличаются от того, чем занималась предшествовавшая ей математика. Столь же неопределенным видится будущее математики, скажем, через 50 или 100 лет. Ясно одно: и по содержанию и по методам она будет существенно отличаться от нынешней математики, а степень ее влияния на жизнь науки и общества в целом еще более возрастет.

Как уже было отмечено, одной из характерных особенностей математического знания является его универсальный характер по отношению к другим наукам и разным уровням научного знания (эмпирическому, теоретическому, метатеоретическому). Математика используется во всех науках (естественных, социальных, технических и технологических) и на всех уровнях познания. Универсальность математики является прямым следствием ее главного «недостатка» по отношению к другим наукам — ее высокоабстрактного характера, а значит, и независимости от конкретного эмпирического опыта, от конкретных эмпирических объектов. По сравнению с предметами всех других наук предмет современной математики кажется чем-то искусственно сконструированным, не имеющим прямого отношения к объективной реальности. Однако именно благодаря этой «искусственности» математика способна быть универсальным и точным языком всех наук, выполняя важную интегративную функцию в культуре — роль общенаучного знания. Среди других видов знания только философия и обыденное знание способны выполнять эту важную интегративную роль универсальных языков культуры. Но, пожалуй, только язык математики понастоящему имманентен науке, т. к. отвечает самым высоким стандартам и критериям научной рациональности (однозначность, доказательность, проверяемость, полезность).

В обеспечении единства современного научного знания не менее важную роль, чем математика, играют технические и технологические науки. Именно они являются воплощением реального, непосредственного синтеза естественных и социальных наук, а также практических потребностей общества. Еще со времен Ч. Сноу стало модным говорить о расколе современной культуры на естественно-научную и гуманитарную, о противостоянии в ее рамках «физиков» и «лириков», о необходимости преодоления этого раскола как одной из важнейших общекультурных задач современной цивилизации. Конечно, если брать представителей естественных наук (наук о природе) и гуманитариев (философов, историков, людей искусства, политиков и т. д.), то действительно можно утверждать о существенной несовместимости их стилей мышления и ценностных ориентаций. Ясно, что современный физик-теоретик или химик, с одной стороны, и философ или историк — с другой, говорят на весьма разных языках и с большим трудом понимают друг друга. Однако проблему обеспечения единства наук о природе и культуре решила, притом практическим образом, сама культура, создав такой специфический тип знания, каким являются технические и технологические науки. Как известно, начало интенсивному развитию этих наук было положено в эпоху Возрождения и Новое время в связи с потребностями нарождавшегося в Европе нового общества — индустриальной цивилизации. Проект этого типа научного знания был подробно разработан и обоснован в Италии Леонардо да Винчи, а в Англии — ее лорд-канцлером Ф. Бэконом. Именно технотехнологическое знание выделялось ими в качестве нового, наиболее ценного и востребованного будущим обществом и противопоставлялось чисто теоретическому, умозрительному описанию природы и общества. Последний тип познания язвительно назывался ими «схоластическим теоретизированием» в противоположность «практически-полезному знанию», получение которого объявлялось главной целью новой науки. Не случайно Лондонское королевское общество (Британская академия наук) — первое крупное профессиональное объединение ученых новой волны — включало в свое полное название слова «наук и **ремесел**». Таким образом, технотехнологические науки с самого начала задумывались как синтез, как единство естественно-научного и гуманитарного знания, как стержень культуры нового типа. На знамени этих наук было четко выведено не одно, а два ключевых слова-ценности:

«Истина и Польза». При этом под словом «Польза» имелась в виду прежде всего **общественная** польза, ибо знание должно было стать общественной «силой» (Ф. Бэкон). Таким образом, проект новой науки под названием «Science» был задуман как синтез прежней теоретически доказательной, но при этом созерцательной науки Античности с эмпирической по содержанию и практически ориентированной наукой Древнего Востока. Технические и технологические науки должны были иметь в качестве объектов своего исследования не природные процессы в их естественной целомудренности, а вырванные из естественной связи отдельные, частные процессы и явления (механические, физические, химические, геологические и т. д.), экспериментальное исследование которых позволяло бы впоследствии использовать обнаруженные там и при этом контролируемые и воспроизводимые эффекты в практических целях во благо общества. Создание различных машин, механизмов, устройств, сооружений, производства полезных для человека потребительных стоимостей — вот конечная и главная цель технических и технологических наук. Вместе с тем они призваны были решать и важные социальные и гуманитарные цели общества — облегчения физического труда и экономии мускульных усилий человека при преобразовании вещества природы для целей своего существования, увеличения могущества человека в его борьбе со стихией природы, повышения производительности труда, удовлетворения как можно большего числа разнообразных потребностей общества и человека и т. д. Таким образом, очевидно, что с самого начала технические и технологические науки должны были включать в свою структуру две компоненты: естественно-научное знание и социально-гуманитарное знание, задавая каждый раз специфическую форму их синтеза, увязки их в некую целостность. Без такого синтеза естественно-научного и социально-гуманитарного знания (в основе которого, как правило, лежит конкретный «социальный заказ» или индивидуальные человеческие потребности) технических и технологических наук не бывает. При этом между естественно-научным (физическим, химическим, биологическим и т. д.) знанием и социально-гуманитарным в составе конкретных технологических и технических наук всегда существует некоторый баланс, паритет, ни одно из них не является более главным или первичным по отношению к другому. Только их взаимосвязь и взаимодействие обеспечивают нормальное функционирование любой технонауки. Конечно, как показали многочисленные современные исследования по философии науки, сама возможность внутреннего диалога и синтеза между науками о природе и науками о культуре обеспечивается отсутствием непроходимой грани между этими видами знания с точки зрения их логико-методологических характеристик, возможностью их интерпретации в рамках единой когнитивной системы, взаимодействием каждого из них с культурой в целом и ее различными подсистемами. Но это все внешние предпосылки и факторы синтеза наук о духе и наук о природе. Магистральный же внутренний и реальный синтез этих относительно противоположных типов научного знания (естественного и гуманитарного) был реализован культурой путем создания и развития комплекса технических и технологических наук.

Отмеченная выше культурная специфика технонаук получила свое отражение в оригинальной структуре технического и технологического знания. В отличие от более простой и более четкой вертикальной структуры организации знания в естественных и социально-гуманитарных дисциплинах (эмпирический, теоретический и метатеоретический уровни научного знания) в технотехнологических науках структура знания имеет вертикально-горизонтальную, или «блоковую», организацию. В каждой технической и технологической науке можно выделить по крайней мере восемь таких блоков: онтологическое знание, модельно-проективное, теоретическое, эмпирическое, тестологическое, обыденное, социально-гуманитарное, метатеоретическое. Все эти блоки взаимосвязаны между собой прямыми и обратными связями и образуют густую сеть взаимодействий. Непосредственным предметом различных технических и технологических наук являются особые артефакты (возможные или действительные), как некие проекты и результаты человеческой деятельности. Даже когда технолог-металлург описывает, например, процесс производства стали определенного вида, он всегда имеет дело с некоторым явлением, созданным человеком в эксперименте и не встречающемся в таком виде в самой природе. Та же ситуация имеет место и при описании любых технических систем и сооружений (от обыкновенного насоса для откачки воды из шахты до ракет, космодромов и персональных компьютеров). Блок онтологического знания (образ будущей машины или технологического процесса и описание их основных параметров, функций и использования) является абсолютно необходимым и исходным в любой технической и технологической науке. Уже на этом уровне при описании целевых функций технической или технологической системы как удовлетворяющей определенным человеческим потребностям вводятся определенные элементы социально-гуманитарного знания. Этого нет в большинстве естественных наук, где познаются объекты или «вещи в себе» (Кант). От описания вещи-проекта на онтологическом уровне технознания осуществляется переход на модельно-проективный уровень, по существу собственный теоретический уровень знания в технонауках. Однако на этом уровне существенно используются теоретические идеи и язык из других областей науки, и прежде всего из физики, химии, математики, других технических наук, а также из гуманитарных (эргономики, экономики, инженерной психологии и др.). Эти знания используются для создания теоретической модели проекта, ее испытания с помощью использования научных законов различного типа и соответствующих математических расчетов. В последующем на основе конкретной эмпирической интерпретации модели строится ее соответствующий материальный прототип, определенный образец будущей техносистемы или технопроцесса. Переход от теоретической модели к ее эмпирической интерпретации — очень ответственный этап познания в технонауках, т. к. одна и та же теоретическая конструкция может в принципе иметь достаточно большое число разных эмпирических интерпретаций и соответственно последующих материальных воплощений. После воплощения эмпирическо-интерпретативной модели в определенном материале осуществляется переход к экспериментальной деятельности с опытным образцом новой техносистемы, собирается и обрабатывается соответствующая эмпирическая информация о ее свойствах и поведении. Это — эмпирический уровень познания в технонауках. Однако эмпирическое познание в технонауках самым тесным образом связано с новым блоком — тестологическим знанием. Последнее — относительно самостоятельный блок научного знания, сердцевину которого составляет метрология — наука о единицах измерения, методах измерения, эталонах и средствах измерения и др. В тестологическое знание входит также описание используемых научных приборов для получения эмпирической информации об испытываемом образце и принципов их действия, описание других (внеприборных) способов воздействия на испытываемую материальную модель. Еще одной специфической чертой технонауки является активное использование обыденного языка на всех уровнях технического научного знания, кроме теоретического. Особенно заметно обыденный язык вкраплен в структуру онтологического, эмпирического и тестологического знания, а также во все инструкции работы с приборами и измерительными инструментами («совместить», «включить», «сигнал», «ярко», «слабый», «сильный», «низкий», «замкнуть», «вырезать», «удалить» и т. д. и т. п.). Опасность использования обыденного языка в науке заключается в его неоднозначности, неопределенности, «субъективности» по сравнению с собственно научным, особенно математическим языком. С другой стороны, у обыденного языка имеются такие преимущества, как универсальность, простота, наглядность, которые в некоторой степени уравновешивают его недостатки. Как известно, в технонауках много делается (особенно на стадиях испытания и последующей эксплуатации) руками, техническим умением и мастерством рабочих, техников и обслуживающего персонала, не имеющих высокой научной подготовки. Поэтому в технонауках без обыденного знания нельзя обойтись принципиально. Ну и наконец, метатеоретический блок технознания. Сюда входят прежде всего фундаментальные знания из естествознания, математики и гуманитарных наук, элементы философского мировоззрения, прежде всего из области философии техники, социальной философии и философской антропологии, общенаучные понятия и принципы, а также научно-философская рефлексия реального или возможного социального заказа на данный вид технического и технологического знания.

Весьма специфическими, существенно отличными от естествознания и социально-гуманитарных наук являются законы развития технонаук. К числу этих закономерностей относятся: 1) баланс когнитивных (познавательных) и социальных факторов в развитии технотехнологических наук; 2) постоянный рост объема технической и технологическй информации; 3) прерывно-непрерывный характер развития технологических наук; 4) телеологизм их развития; 5) существенное и всевозрастающее влияние экологических, гуманистических и цивилизационных детерминант в развитии технонаук.

Если говорить о специфике развития технонаук в целом, то она заключается в постоянном взаимодействии внутринаучных и социальных факторов в процессе их функционирования и развития. Ни интернализм, ни экстернализм как общие модели развития научного знания здесь явно не проходят. Если в отношении развития математики и логики или даже естественных наук определенные шансы имеет интернализм, а в отношении социально-гуманитарных наук — экстерналистская модель развития научного знания, то реальная история развития технотехнологического научного знания явно противоречит им обоим. К развитию научного технознания наиболее подходит концепция диалектической взаимосвязи внутринаучных и социальных детерминант. При этом каждый раз для различных технонаук и для различных этапов и стадий их развития речь должна идти не о взаимосвязи этих детерминант вообще, а о конкретном виде и конкретной степени этой взаимосвязи. Более подробно о структуре и закономерностях развития технических и технологических наук, о сходстве и различии между ними, их взаимосвязи с обществом читатель сможет прочесть в соответствующих главах учебного пособия.

В заключение хотелось бы объяснить причины включения в данное учебное пособие раздела о логике и ее философских проблемах. Основные причины — две. Первая: убежденность в том, что логика является одной из наук, имеющих важное значение для всех других областей научного знания, в том числе для математики и технонаук. Логика, как и математика, является универсальным языком науки, на котором должен уметь профессионально говорить любой ученый независимо от специальности. Однако в логике, как и во всякой науке, имеются определенные философские проблемы, знакомство с которыми позволяет глубже понять возможности и пределы этой науки. Их знание поможет избежать многих ошибок в суждениях о логике.

Вторая причина связана со стремлением восполнить тот пробел в системе образования будущих научных работников, когда большинство из них лишено возможности изучения логики в процессе своего обучения. На уровне аспирантуры всем будущим ученым еще не поздно восполнить этот пробел, не говоря уже о математиках, которым профессиональное знание логики просто абсолютно необходимо.

Таким образом, и математика, и технические науки, и логика, несмотря на все их различия, сходны в одном: все они выполняют объединяющую, синтетическую функцию, скрепляя всю науку в единую, целостную систему. В этом их главное культурное и гуманистическое предназначение.

С.А. Лебедев,
Заслуженный профессор
Московского университета

ЧАСТЬ I
ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

Глава 1

ПРИРОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПОЗНАНИЯ

Основные концепции природы математического познания

Философские воззрения на математику во многом различаются тем, как они трактуют природу математических понятий и принципов. Это прежде всего вопрос о генезисе математических понятий. Его решение во многом зависит от принятия тех или иных гносеологических установок.

Первой явно сформулированной концепцией философии математики был, очевидно, пифагореизм. Пифагорейцы прежде всего различали мир чувственных предметов и явлений, в которых царит случайность, и мир сверхчувственных (мысленных) объектов и отношений, где имеет место идеальная упорядоченность и гармония. Второй мир может быть познан только умозрительно. Все высказываемое о чувственном мире не вполне достоверно и является только мнением. Утверждения же математики, относящиеся ко второму миру, являются подлинным знанием, обладающим полной истинностью. Математические утверждения опираются не на показания чувств, а на разум, который способен, как полагали пифагорейцы, непосредственно, без опоры на опыт постигать истинные законы космоса. Истины математики являются несомненными и вечными. «Ложь же никоим образом не входит в число, — учил пифагореец Филолай, — ибо ложь враждебна и противна природе его, истина же родственна числу и связана с ним с самого начала»[1]. Важно отметить также, что пифагорейцы приписывали математическим объектам не только объективное существование. Они придавали числам статус причины вещей, активного начала, порождающего вещи. Хорошо известен их главный тезис «Все есть число». Пифагорейский взгляд на математику был господствующим в античной философии в период ее расцвета. Мы видим его, в частности, в диалогах Платона, в особенности, в «Теэтете» и в «Тимее».

Однако его ученик Аристотель выдвинул новую, эмпирическую концепцию математики, исходящую из первичности опыта в генезисе любого знания. По мнению Аристотеля, математические предметы не являются чем-то существующим отдельно от вещей, наряду с ними, а тем более причинами вещей. Они, по его мнению, связаны с вещами и возникают как таковые из способности мышления к абстрагированию. «И лучше всего можно каждую вещь рассмотреть таким образом: полагая отдельно то, что отдельно не существует, как это делает исследователь чисел и геометр»[2]. Смысл этого высказывания состоит в том, что человек, чувственно воспринимая вещи во всем многообразии свойств, абстрагируется (отвлекается) от многих из них, оставляя лишь некоторые из них и исследуя последние как отдельно (самостоятельно) существующие. Математик мысленно строит особый идеальный мир, основанный на отвлечении, но этот мир не является независимым от чувственных вещей, он берется как независимый от них лишь условно, для ясности и простоты рассмотрения интересующих нас свойств.

Аристотель высказал также ряд других идей, заслуживающих рассмотрения. Он, в частности, высказал положение о том, что строгость математического рассуждения объясняется простотой ее предмета. Под простотой здесь имеется в виду не легкость усвоения математики, а ее предельная абстрактность, отсутствие в ее

---

[1] *Маковельский А.О.* Досократики. Казань, 1919. С. 36.
[2] *Аристотель.* Соч.: В 4 т. М., 1972. С. 326.

предмете разнородности качеств, которая имеет место в более конкретных науках. Им высказана также идея о глубинной связи математики с понятием прекрасного. Важнейшие виды прекрасного, считал Аристотель, — это слаженность, соразмерность и определенность, но именно эти стороны вещей и изучает математика.

Очевидно, что аристотелевская концепция математики является более соответствующей духу естественно-научного мышления. Значительное число ученых и в настоящее время придерживаются в своей сути аристотелевского воззрения на природу математики: они считают, что математика вторична по отношению к опыту, что исходные математические объекты есть некоторые абстрактные схемы реального бытия вещей. Математика с этой точки зрения суть не что иное, как очень абстрактная физика, отвлеченная от анализа реальных (материальных) сил и движений[3].

Аристотелевское истолкование природы математического знания имеет, однако, серьезные внутренние трудности. Уже давно было замечено, что математические утверждения (теоремы) в отличие, скажем, от физических не могут быть опровергнуты. Доказанное в математике доказано навсегда, в то время как в физике нет ни одного утверждения, которое не стояло бы перед опасностью пересмотра и корректировки в будущем. Мы видим также, что математика в обосновании своих положений не использует и не нуждается ни в каких показаниях опыта. Мы замечаем, наконец, что многие математические объекты не могут быть поняты в качестве абстракций из опыта. Уже с такими объектами, как отрицательные числа возникают затруднения. Нельзя доказать положение: $(+5)\times(-5) = -25$, апеллируя к какому-либо опыту или к логике абстрагирования. Еще более проблематичны в этом отношении комплексные числа. Математический анализ ввел в математику понятие актуальной бесконечности, которое также не имеет коррелята в чувственном опыте. Развитие математики начиная с XVII в., демонстрировало все новые и новые возражения аристотелевской кон-

[3] См.: *Арнольдъ В.И.* Что такое математика? М., 2004.

цепции математики и все настоятельнее ставило задачу разработки ее понимания на не-эмпирической основе.

В какой-то степени эту задачу решала априористская концепция математики, сформированная в XVII—XVIII вв. (Декарт, Лейбниц, Кант). Априоризм в определенной степени явился возвращением к пифагореизму с его разделением знания на чувственное и умопостигаемое. Математика объявляется принципиально внечувственным знанием, основанным на априорной интеллектуальной интуиции. Так, Декарт разделял все истины на мысленные и вечные, данные в аподиктической интуитивной очевидности, и чувственные, постигаемые на основе опыта. Математика стала пониматься как знание, получаемое на основе не чувственной, а мысленной очевидности. Близкое воззрение было сформулировано Г. Лейбницем. Он отличал необходимые истины (математические и логические) от истин случайных, основанных на опыте. По мнению Лейбница, необходимые истины это такие истины, отрицание которых содержит в себе противоречие. При этом, по Лейбницу, аналитическими истинами являются не только теоремы, которые строго логически выводятся из некоторой системы простых исходных утверждений (аксиом), но и сами аксиомы математических теорий. И у Декарта, и у Лейбница возникновение исходных понятий и утверждений математики не связывается жестко с опытом, они рассматриваются как покоящиеся на очевидности, имеющей внеопытную и доопытную (априорную) природу. Оба этих философа отождествляли априорное знание со знанием, врожденным уму. Математические истины, по Лейбницу, не проистекают из опыта, они присущи внутренне самому разуму как некоторое его имманентное содержание. Правда, они могут иногда выявляться под влиянием воздействия предметов на наши органы чувств.

Учение об априорности математики получило дальнейшее развитие в философии И. Канта. Кант отказался от воззрения Лейбница на аналитичность математических истин. Аналитичностью, с его точки зрения, обладает только логическое знание (логические априорные истины), остальные же виды априорных истин (например, математические и философские) являются синтетическими. Синтетичность математики обусловлена наличием в нашем сознании чистого внеопытного (мысленного) созерцания, которое позволяет сформулировать положения априорные (независимые от опыта) и одновременно синтетические, не сводимые к тавтологиям типа А = А. Исходные положения (аксиомы) геометрии опираются, по Канту, на чистое представление о пространстве (на его априорное созерцание), а истины арифметики — на чистое представление (априорное созерцание) времени. «Чистые» представления пространства и времени определяют, по Канту, как состав исходных принципов (аксиом) математики, так и логику математического мышления. Всякое доказательство самоочевидно в том смысле, что каждый его шаг может совершаться только на основе мысленно очевидного синтеза[4].

Признание в XIX в. новых неевклидовых геометрий в качестве полноценных математических теорий существенно поколебало позицию кантовского априоризма, но только кантовского, а не априоризма вообще. Новые геометрии показывали возможность существования альтернативных евклидовой геометрических теорий. Аксиоматика геометрии Лобачевского и других неевклидовых геометрий могла бы быть истолкована как такой же продукт чистого созерцания, как и евклидова геометрия, тем более что неевклидовы геометрии возникли явно не из обобщения нового эмпирического опыта.

В связи с осмыслением статуса неевклидовых геометрий (а позже и теории множеств) в конце XIX в. стала оформляться новая концепция математики, получившая название формалистской философии математики. Основные ее положения могут быть сформулированы следующим образом:

— математика не имеет предмета в объективной действительности, подобного физике, химии и другим наукам, она не является наукой, исследующей какие-

[4] См.: *Кант И.* Соч.: В 6 т. Т. 3. М., 1964. С. 402.

то специфические аспекты объективной реальности, а представляет собой лишь метод логической систематизации опытного знания и состоит из совокупности формальных структур, пригодных для этой цели;

— основным требованием к аксиомам математической теории является не их априорная очевидность или связь с опытом, а их непротиворечивость, которая необходима и достаточна для ее приложения к опытным наукам;

— к математике не применимо понятие истины в смысле адекватного объективного содержания. Любая математическая теория сама по себе не истинна и не ложна. Она становится таковой только после соединения ее понятий с понятиями опытных наук;

— если обоснование содержательной науки состоит в эмпирическом подтверждении ее истинности, то обоснование математической теории заключается в доказательстве логической непротиворечивости множества ее аксиом и правильного логического вывода ее соответствующих теорем.

Эти принципы наиболее четко были сформулированы в работах Д. Гильберта и ряда других ученых. Ясно, что принимая этот взгляд на сущность математической теории, мы уходим от философских трудностей как эмпирического, так и априористского истолкования природы математики. От математической теории не требуется больше ни априорной очевидности, ни опытной основы в качестве необходимых признаков. Для нее существенным объявляется только одно свойство, а именно требование ее непротиворечивости. Обоснование математической теории заключается с этой точки зрения только в строгом доказательстве ее непротиворечивости. Философия математики XX в. (особенно в первой трети XX в.) развивалась в значительной степени в русле этих идей.

Однако на протяжении XX в. появились и некоторые новые воззрения на природу математики. Прежде всего произошло определенное возрождение эмпиризма, правда, не в его грубом онтологическом варианте истолкования содержания любой математической теории как отражающей специфическую область действительности, а скорее — в методологическом варианте, согласно которому и в математике должно иметь место опытное подтверждение ее утверждений. В этом плане получила большую известность концепция математического «квазиэмпиризма» И. Лакатоса. Возникли также воззрения, которые можно назвать новым вариантом неоаприоризма: логицизм, интуиционизм, конструктивизм и др. Большинство из них настаивает на априорности только исходных принципов арифметики и евклидовой геометрии, трактуя остальные математические теории уже как производные математические структуры. Математика с этой точки зрения разбивается на две части: первичная, априорная, математика и вторичная — формально производная — математика. Разумеется при этом, что и та и другая могут быть использованы для решения внешних (прикладных) задач. Мы считаем, что именно неоаприористское воззрение на природу математики является более правильным и более перспективным по сравнению с неоэмпиризмом. Более того, с нашей точки зрения, исходные математические теории, такие как арифметика и евклидова геометрия имеют непосредственную связь как с универсальной **философской** онтологией сознания, так и одновременно с практикой, реализуя прикладную ценность математического мышления. Этот вид неоаприоризма мы предлагаем назвать «праксеологическим».

Проблема генезиса первичных математических представлений

Как известно, в некоторых философских теориях познания (марксизме, прагматизме и др.) подчеркивается, что источником познания, основой познания (в смысле наличного материала и средств), а также высшим критерием истинности теорий и идей является практическая деятельность людей (практика). С нашей точки зрения, к этому правильному положению необходимо добавить еще одно, состоящее в том, что практика является также источником нормативной базы сознания и познания, т. е. источником универсальных норм, без которых немыслима деятельность в любой сфере, в том числе и в познавательной, и, в частности, в математическом познании.

Универсальная праксеологическая нормативность проявляется прежде всего в наличии в сознании и мышлении всеобщих понятий (категорий) и принципов. Например, всякое опытное знание строится как знание о чем-то материальном, объективном, подчиняющемся причинно-следственным связям, существующем в пространстве и времени и т. п. Нетрудно понять, что мы имеем здесь дело с общими требованиями к структуре представлений, обусловленными их практической функцией. Теория, которая отказалась бы от различения объектов по пространственно-временным характеристикам, от подчинения их причинно-следственным связям, которая не умела бы различать случайное и необходимое и т. д., не могла бы быть квалифицирована как знание, ибо она заведомо не могла бы быть использована для эффективной координации действий человека в любой сфере опыта. Человеческое знание необходимым образом соединено с практикой, а следовательно, оно не может не быть скоординировано с категориями практики. Абстрактные принципы типа «причина раньше следствия», «время необратимо» и т. п. должны быть поняты в этом плане как наиболее общие ограничения на структуру представлений, проистекающие из практической значимости последних. Попытка объяснить эти принципы из опыта, индуктивно, заведомо обречена на неудачу, ибо, с одной стороны, содержит в себе логический круг, а с другой — заведомо не способна оправдать их внеисторичность и аподиктичность.

Другой универсальной нормативной структурой сознания, проистекающей из требований практической деятельности, является система логических норм, которой подчинено всякое понятийное мышление. Если категории ограничивают содержание представлений, вносят всеобщее инвариантное содержание в определение любого предмета мышления, то логические нормы — это всеобщие ограничения на структуру понятий об этих предметах, их возможные логические связи.

Система понятий, не подчиняющаяся законам логики, не может быть знанием, поскольку она не будет определенной, а следовательно, не может служить основой эффективной практической деятельности, которая всегда предполагает некоторый выбор.

Очевидно, что категориальные и логические представления не являются эмпирическими в том смысле, что получены путем обобщения чувственного опыта. Они отличаются от эмпирических представлений прежде всего по объекту отражения. Дело не в том, что в них фиксируются какие-либо, пусть даже всеобщие свойства объектов, а в том, что в них фиксируются необходимые условия осуществления практической деятельности с любыми объектами, т. е. основания самой этой деятельности. Очевидно, например, что деятельность всегда связана с некоторым объектом, на который она направлена и который «противостоит» человеку как субъекту деятельности. Мы можем эффективно действовать, только опираясь на наличие связи между явлениями, при которой, в частности, появление одних явлений с необходимостью или некоторой вероятностью влечет появление других. Это требует от нас понимания мира явлений как универсально обусловленного. Именно практическая деятельность, необходимость ее эффективного осуществления навязывает нам объектную, причинную и временную структуру знания, ибо знание, не определенное в этих категориях, бесполезно для практики. Деятельностная трактовка категорий существенно корректирует кантовское понимание их сущности. Мы должны понимать априорные категории не просто и не только как необходимые условия опыта, но прежде всего как необходимые онтические предпосылки для осуществления практической деятельности.

Мы должны признать наличие в структуре знания двух принципиально отличных друг от друга систем представлений и понятий — эмпирических и категориальных. Разница здесь отнюдь не количественная: категории не просто более общие или более абстрактные понятия, чем эмпирические. Они не просто более универсальны для познающего мышления и не просто более очевидны. Система представлений и понятий, связанная с категориями и с логикой, лежит принципиально в другой плоскости измерении. Она **качественно** отличается от системы эмпирических представлений как по генезису, так и по функциям. В категориях задается особая реальность, невыразимая в частных понятиях. Напротив, все частные представления так или иначе строятся на основе категорий. Категории в этом смысле образуют первичную и автономную сферу продуктов сознания. Мы будем называть эту сферу категориальной онтологией, или категориальным видением мира. Категориальная онтология по отношению к эмпирическому знанию представляет собой первичный и в этом смысле априорный уровень знания.

Эти общие соображения позволяют нам ближе подойти к обоснованию положения об априорном характере математических представлений. Как известно, Кант обосновывал априорность математики, исходя из априорного характера пространства и времени, как фундаментальных и необходимых форм созерцания. Такой ход рассуждений мы не можем признать полностью удовлетворительным. Правильное движение должно быть, с нашей точки зрения, другим: необходимо и возможно подойти к обоснованию априорности математики исходя из априорного и конструктивного характера мышления как важнейшей части сознания.

Математика есть порождение не чистого созерцания, а «чистого» мышления. Она появилась только тогда, когда мышление стало осознавать и проявлять себя как относительно самостоятельная и независимая по отношению к чувственному опыту структура сознания, т. е. структура, способная самопорождать (конструировать) свое собственное содержание. Ошибка Канта состояла в том, что он пытался вывести содержание математики не из чистого мышления, а из чувственного созерцания пространства и времени, понимаемых при этом в содержательном плане априорным образом как «чистое», независимое от конкретного восприятия, инвариантное понимание «протяженности» и «длительности». Поскольку математика времен Канта не знала другой геометрии, кроме евклидовой, то кантовская концепция природы геометрии неизбежно вела к абсолютизации последней не только как абсолютно полной, но и как единственно возможной.

Косвенное соображение в пользу положения об априорности истин элементарной математики (евклидовой геометрии и арифметики натуральных чисел) проистекает из простоты этих истин по сравнению с другими математическими теориями. Эти априорные истины даны сознанию с такой степенью очевидности, которая преобладает над очевидностями, относящимися к содержанию других видов знания, кроме, пожалуй, логического умозаключения. Но в таком случае сама аподиктическая очевидность может быть использована в качестве важного дополнительного признака априорности знания. Если мы посмотрим на исходные представления арифметики и геометрии, то должны признать, что они являются аподиктически очевидными в этом смысле. Пифагорейский тезис, согласно которому ложь не может быть присоединена к утверждениям о числах, понятен современному математику ничуть не в меньшей мере, чем математикам (да и всем людям), жившим в более ранние времена. Элементарные арифметические и геометрические истины даны человеческому сознанию с такой непреложностью, которая заставляет нас признать, что здесь мы имеем дело с представлениями, радикально отличными от представлений опытных наук.

Общее теоретическое обоснование априорности исходных математических идеализаций требует некоторого выхода в универсальную онтологию. Однако этот выход состоит не в том, чтобы выводить истинность конкретных математических теорий из истин универсальной онтологии, даже если последняя и имеет праксеологический характер. Хотя математика и замыкается в своем происхождении и применении как на определенный эмпирический (чувственный) опыт, так и на определенную универсальную (философскую) онтологию, однако эта зависимость от них не является строго однозначной.

Конечно, для того чтобы действовать в определенном временном и пространственном интервалах, мы нуждаемся в абстракции отождествления вещей или процессов с самими собой, полагая их в рамках этих интервалов как тех же самых. В процессе конкретного действия мы опираемся, в частности, на допущение тождества предметов самим себе и постоянства их структуры, т. е. на идеальные и вместе с тем необходимые представления о предметах, как удовлетворяющих общим условиям деятельности. Точно так же как практическая деятельность вырабатывает у нас идеальные представления об универсальности причинной связи, она вырабатывает и представления о совокупности предметов, которые конечны в пространстве и времени, стабильны в своих формах, отделены друг от друга и т. д. Математика с этой точки зрения априорна в том смысле, что ее исходные истины фиксируют не факты опыта или их обобщение, а лишь отношения идеальной предметности.

Обычный довод против априористского истолкования истин арифметики и геометрии исходит из факта их содержательности и, в частности, их приложимости к описанию счета и измерения. Мы охотно верим, что ребенок усваивает арифметические истины в опыте, посредством счета и упорядочения реальных предметов. Однако это воззрение одновременно упрощает и искажает действительную ситуацию. Анализ процедур счета и измерения показывает, что они всецело определены представлениями об идеальной предметности и имеют смысл только в рамках этих представлений: деятельность счета строго ограничена ситуациями, соответствующими требованиям идеальной предметности. Мы не пытаемся определить точное число волн на поверхности воды или число переживаний в нашей душе за определенное время суток, т. к. волны и мысли не обладают достаточной дискретностью и не попадают в число объектов, к которым применима операция счета. Мы не можем изменить эти требования под действием какого-либо опыта. В этом смысле арифметика представляет собой описание специфических требований к объекту, продиктованных универсальной предметной онтологией. Это означает, что законы арифметики не порождены процедурами счета, а являются их условием. Их убедительность для нашего сознания проистекает не из практики счета, а из универсальных требований предметной онтологии. Ошибка философов-эмпириков состоит в том, что они пытаются вывести понятие числа из процедуры счета, истолковывая сферу приложения арифметики в качестве источника ее истин. Они, как говорил Фреге, смешивают применение математической истины с самой этой истиной[5]. То же самое относится и к процедуре измерения. Эта процедура опирается на представления о количестве и величине, которые априорны и имеют свои истоки в общей структуре сознания и деятельности.

Иногда приводят также антропологический аргумент против априорности математики. Согласно этому аргументу, у первобытных народов не наблюдается развитых представленний о числе и натуральном ряде чисел. Этот аргумент, однако, проистекает из смешения априорного знания со знанием врожденным. Априорность представлений не означает их врожденности, а означает лишь их интерсубъективность и эквифинальность, т. е. их появление в качестве необходимой формы мышления в любом мыслящем сознании. Исходные математические представления, несомненно, априорны в этом смысле. Мы имеем все основания говорить об априорности арифметики и элементарной геометрии как теорий, основанных на определенных априорных онтологических предпосылках. Математика имеет не эмпирическую, а категориальную онтологическую основу. В этом смысле ее исходные положения являются априорно истинными и не требуют обязательного эмпирического обоснования.

Реальность математических объектов

Праксеологическое понимание интуитивной основы математического мышления позволяет нам по-новому посмотреть на старый спор о реальности математических абстракций: являются ли эти абстракции фик-

[5] *Фреге Г.* Основоположения арифметики. М., 2000. С. 44–45.

циями, изобретением человеческого ума либо они включают в себя некоторое содержание, предопределенное структурой мира, в котором мы существуем. Изложенные соображения дают нам возможность защитить математический реализм и прояснить его действительные основания.

Необходимо различать методологическое и философское понимание математического реализма. Методологический реализм сводится к утверждению, что в математике в качестве непосредственно истинных могут приниматься не только утверждения о конкретных предметах (числах, фигурах), но и утверждения об абстрактных сущностях, таких как множество действительных чисел и т. п. Номиналисты полагают, что подлинной надежностью обладают только высказывания о конкретных объектах, таких как натуральные числа и операции с ними. Этот спор в настоящее время можно считать законченным: методология математики в достаточной степени прояснила тот факт, что строго номиналистическое построение математики не может быть осуществлено.

Для философии математики более важной и более трудной является идея философского (метафизического) реализма, который стремится найти за математическими абстракциями некоторого рода реальное существование. Праксеологическое понимание математических идеализаций решает этот вопрос в положительном смысле. Конечно, нельзя думать, что конкретному математическому треугольнику соответствует «реальный» треугольник, существующий в некотором объективном мире идей, как это думал Платон. Идея субстанциального существования математических объектов неприемлема. Но, с другой стороны, ясно, что система исходных представлений математики не вымысел, не конвенция и не плод свободного воображения. Система исходных математических идеализаций всегда обусловлена определенной предметной онтологией, и в этом смысле она имеет несомненную объективную значимость, прямое отношение к структуре нашего мира. Числа и фигуры — мысленные представления, существующие только в голове математиков, и в этом смысле они идеальны. Но они — необходимые представления сознания, мышление без которых так же невозможно, как оно невозможно без представлений о причинности и времени. В этом смысле математические объекты — необходимые составляющие деятельностной картины мира и, следовательно, объекты, имеющие реальную значимость.

В своем отношении к миру человек строит два уровня теоретических представлений: теоретические представления, систематизирующие данные опыта, и общие онтологические представления, фиксирующие в себе необходимые условия осуществления практической деятельности. Оба этих уровня обладают объективной значимостью, ибо оба они определены и подтверждены практическим отношением человека к миру. И если математическая теория в своих исходных интуициях задана определенной категориальной онтологией, то ей не может быть отказано в статусе реально значимой теории. Соглашаясь с теми, кто говорит, что законы математики — не законы природы, основанные на опыте, мы тем не менее имеем право настаивать на их связи со структурой реальности, выраженной в категориях.

Праксеологический априоризм, таким образом, отличается от традиционного тем, что он является одновременно и реализмом. Связывая исходные математические идеализации с универсальной онтологией, праксеологический априоризм оправдывает традиционную веру математиков в реальную значимость математических объектов и теорий. От кантовского априоризма с его абсолютной имманентностью форм мышления мы должны возвратиться к априоризму Лейбница, для которого универсальные принципы мышления выступают одновременно и в качестве основополагающих характеристик реальности. Наше различение евклидовой геометрии как более реальной по сравнению с другими геометриями, полученными из нее посредством логических трансформаций, имеет вполне определенный смысл: в отличие от других геометрий евклидова геометрия была первичной истиной. Ясно, что такого рода реализм относится только к генетически исходной группе математических понятий. К другим объектам математики и другим математическим теориям, полученным на основе конструкции из исходных, применение понятия абсолютно априорного уже, очевидно, не имеет смысла. Там можно говорить лишь об относительной априорности математического знания.

Современные теории математического реализма неудовлетворительны прежде всего вследствие отсутствия анализа подлинной онтологии математики. Не проясняя связи математических идеализаций с определенной универсальной онтологией, современный математический реализм сводится либо к обоснованию абстрактного объективизма в духе Канта и Гуссерля, либо к попыткам прямого соотнесения математики с физической реальностью того типа, который дается натуралистической эпистемологией. Натуралистические подходы, однако, столь же несостоятельны, как и подходы чисто конструктивистские, рассматривающие математические понятия как абсолютно свободные конструкции сознания.

Математика как всеобщий метод научного мышления

Начиная с пифагорейцев, философы и математики пытались уяснить предмет математики, понять, **что́** она исследует во внешнем мире, и выработали большое число определений, основанных на таких понятиях, как число, величина, порядок и т. п. Постепенно, однако, была понята простая истина, состоящая в том, что математика в принципе может иметь дело с любым содержанием, которое поддается количественному анализу. Было понято, что математика содержательно универсальна и по этой причине неопределима через конкретные, качественные ограничения, т. е. через предмет в обычном его эмпирическом понимании. В настоящее время большинство ученых и философов согласны с тем, что математика не является наукой, моделирующей закономерности конкретной, содержательно выделенной сферы опыта, а представляет собой скорее некоторого рода метод, специфический язык, созданный для логической обработки любых содержательных утверждений. В функциональном плане математика представляет собой как бы второй этаж в структуре научного знания, где в идеальной форме исследуются операции и модели, необходимые для чисто количественного логического анализа знания, полученного на основе опыта.

Математика должна быть понята в качестве особого метода или инструмента научного мышления. Суть этого метода состоит в количественной обработке эмпирически обоснованных суждений и гипотез. Необходимость математического метода проистекает из структуры человеческого знания. Каждый фрагмент содержательного знания наряду с качественной информацией содержит и другую информацию, которая может быть выявлена лишь в процессе количественного анализа этого сообщения или текста, через выявление следствий, которые иногда являются глубоко скрытыми не только для читателя, но и для самого автора. История науки показывает, что глубинная информация такого рода часто оказывается более существенной и практически более важной, чем информация качественная. Как известно, одним из средств выявления глубинной информации является логика. Но логика сама по себе недостаточна для этой цели. Логика — это универсальное средство, приложимое к любому типу высказываний независимо от предмета рассуждения. Но каждая область знания, каждая научная теория имеет специфические модели, и естественно, что выявление глубинной информации требует не только логики, но и специальных символических систем, в которых могут быть эксплицированы понятия и модели данной теории. Мы не сделали бы ни одного шага в теоретической механике, если бы ограничились только общей логикой и не выразили бы ее принципы в дифференциальных уравнениях. Эти уравнения показывают нам, к примеру, что закон всемирного тяготения Ньютона уже содержится в кинематических уравнениях Кеплера, хотя это далеко не очевидно для здравого смысла, и сам Кеплер, конечно, не догадывался об этом. Неудивительно, что все наиболее крупные сдвиги в теоретических науках связаны с математическим методом, с количественным анализом принципов, который обеспечивается возможностью их представления в математических понятиях. Впечатляющие примеры силы математического метода показывают нам современные теории физики, такие как теория относительности, квантовая механика, теория поля и др.

Идея математики как чисто формальной или количественной науки, противостоящей содержательным, эмпирическим наукам, была с полной ясностью высказана уже полтора столетия назад Г. Грассманом в предисловии к «Учению о протяженности». «Верховное деление наук, — писал Грассман, — состоит в разделении их на реальные и формальные науки, из которых первые отображают в мышлении бытие, как противостоящее мышлению. Наоборот, формальные науки имеют своим предметом то, что полагается самим мышлением. Их истина заключается в согласии мышления с самим собой»[6].

В общем плане мы можем понять математическую деятельность как построение формальных (оперативных) структур, предназначенных для выявления глубинной информации в содержательных теориях. Соответственно предметом математики мы можем считать формальные структуры, способные выполнять функцию экспликации и дедуктивного анализа принципов содержательных наук. Математика с этой точки зрения — это система формальных структур, предназначенных для количественного анализа содержательного знания и исторически развивающаяся в направлении максимальной эффективности в этом отношении. Давая такое определение, мы следуем пониманию предмета математики как «системы абстрактных форм» или «аксиоматических структур», которое было сформулировано в известной статье Н. Бурбаки «Архитектура математики»[7]. Здесь важно лишь указать на при-

---

[6] *Грассман Г.* Учение о протяженности. Часть 1 // Новые идеи в математике. Сб. 8. СПб., 1914. С. 72.

[7] См.: *Бурбаки Н.* Архитектура математики // Бурбаки Н. Очерки по истории математики. М., 1963.

кладной характер этих структур, на их функциональную значимость для опытного знания, без которой нельзя понять сути математики как метода и ее места в системе знания. Математика не может быть понята как некая абсолютно автономная сфера интеллектуального творчества; мы должны понимать ее так же, как метод, как науку, направленную в конечном итоге на обслуживание содержательного знания и определяемую этой целью в своем развитии.

Мы можем в принципе понять и позицию Р. Карнапа, разделившего все истины на фактуальные и формальные[8]. Позитивистская трактовка математики как совокупности формальных систем страдает, однако, тем недостатком, что она связана с истолкованием принципов математической теории как конвенций, как чисто условных соглашений. Идея математического конвенционализма идет от Пуанкаре, который использовал ее для оправдания неевклидовых геометрий. Он считал, что принципы любой геометрии, в том числе и евклидовой, не проистекают из опыта, иначе они бы периодически уточнялись, но они и не априорны, иначе они не допускали бы никаких других геометрий. В действительности же, утверждал Пуанкаре, и те и другие не что иное, как удобные соглашения, проявившие свою пригодность для описания окружающих нас вещей и отношений между ними.

Эта идея важна для понимания математического метода. Когда математик конструирует новую теорию, устанавливая принципы, обеспечивающие выполнимость определенной системы преобразований, то, конечно, он понимает этот принцип не как непосредственное описание объективной реальности, но как конвенцию, удобную для решения определенных задач. Идея конвенции, однако, не может быть принята в качестве объяснения всего множества принципов, лежащих в основе математического мышления. Хотя математическое мышление существенно базируется на конвенциях, нам трудно принять принципы арифметики и элементарной геометрии только лишь в качестве конвенций. Мы счи-

[8] См.: *Карнап Р.* Значение и необходимость. М., 1959. С. 36—44.

таем, что эти первичные принципы связаны также с определенным категориальным видением мира.

Арифметика, евклидова геометрия и логика в своей структуре — обычные формальные системы, но первичные представления, которые они формализуют, — не конвенции, а определенные категориальные истины, обладающие безусловной необходимостью. Утверждение «$2 + 2 = 4$» — это, конечно, не эмпирическое обобщение, но и не конвенция, а скорее — априорная истина мышления.

Мы считаем, что современная философия математики должна исходить, с одной стороны, из понимания чисто формальной природы математических теорий, а с другой — должна учитывать онтологическую (категориальную) природу исходных математических представлений. Если кантовский априоризм был далек от понимания формальной природы математических теорий, то, с другой стороны, аналитическая философия математики, в особенности в логическом позитивизме Карнапа и Витгенштейна, неправомерно абстрагировалась от предметного (онтологического) основания математического мышления.

Конечно, не всякое математическое конструирование и не всякое математическое доказательство имеет абсолютно априорный характер. Уже неевклидовы геометрии показали несостоятельность этого мнения. Но мы хотели бы подчеркнуть, что математика была бы невозможна и без некоторого множества первичных априорных истин. Именно из множества таких истин могла «вырасти» вся остальная математика.

Методы математики. Математическое доказательство

Под методом математики мы будем понимать совокупность способов получения и обоснования математических утверждений. Если говорить о методах **получения** математических утверждений, о способах продвижения математика к новым результатам, то здесь мы должны, по-видимому, перечислить все методы поиска, используемые вообще в науке. Но в математике эти методы, конечно, приобретают свои особенности.

Л. Эйлер говорил, что почти все свои теоремы в теории чисел он нашел **из наблюдения** за числами. Здесь мы обнаруживаем квазиэмпирическую сторону математического творчества, хотя наблюдение математика над числами вряд ли полностью тождественно наблюдению биолога над поведением животных. Однако индуктивное начало является общим в обоих случаях. Различие состоит в том, что математик не может остановиться на индукции, сколь бы очевидной она ни была. Он должен доказать это утверждение, как необходимо вытекающее из некоторых принципов теории. Утверждение о том, что каждое четное число может быть представлено суммой двух простых (теорема Гольдбаха), с точки зрения эмпирической методологии можно было бы считать полностью обоснованным, поскольку известно, что оно справедливо для всех чисел меньше миллиона. Однако с математической точки зрения оно остается только гипотезой.

Важнейшим и, может быть, самым плодотворным для совершенствования математической теории является метод интерпретации. В этой связи мы можем вспомнить алгебраическую интерпретацию геометрии, осуществленную Декартом, которая позволила вдохнуть новую жизнь в, казалось бы, законченную систему евклидовых теорем и существенно способствовала в дальнейшем появлению и многомерных и неевклидовых геометрий. Эффект метода интерпретации основан на том замечательном факте, что теоремы, трудно доказуемые в одной теории, оказываются легко достижимыми при переформулировке этой теории в другой системе понятий.

Важную роль в развитии математики играет интуиция. Интуиция как догадка, как возможность увидеть истину до ее обоснования присутствует в любой науке и в любом научном поиске. Но математика является, по-видимому, одной из самых благоприятных сфер для проявления этой способности мыслящего разума. Выделяют несколько типов интуиции. Простейший ее вид состоит в формулировке общей гипотезы на основе предварительной индукции или аналогии. В математике, однако, выдвигаются гипотезы, для которых имеется мало оснований в опыте, а также и такие гипотезы, которые противоречат наличному опыту. К таким умозрительным гипотезам можно отнести, например, неархимедову аксиому Лейбница, догадку о возможности неевклидовых геометрий у Гаусса, Лобачевского и Больяи, идею завершенного натурального ряда Г. Кантора и многие другие утверждения, оказавшиеся в конечном итоге плодотворными. Существуют также «таинственные» интуитивные прозрения, которые имеют личностную основу и мало поддаются изучению. В качестве примера здесь можно указать на результаты индийского математика С. Рамануджана в теории чисел, которые в своем большинстве оказались истинными, но которые он сам не смог обосновать[9]. В настоящее время мы, по-видимому, еще очень далеки от понимания всего множества творческих механизмов и возможностей человеческого сознания, включая действия подсознания и влияние неявного знания.

При использовании множества методов наведения в математике существует только один метод обоснования, а именно доказательство. Относительно доказательства в философском плане возникает ряд вопросов: о соотношении логики и интуиции в доказательстве, об информативности доказательств, о соотношении конструктивных и неконструктивных доказательств и т. п. Однако важнейшим вопросом философской теории математического доказательства является вопрос о его строгости. Приведем, в частности, некоторые аргументы, обосновывающие возможность завершенного (абсолютно строгого) доказательства.

Если мы признаем факт существования аподиктических очевидностей и их абсолютную надежность, состоящую в их неуязвимости для контрпримеров, то вопрос о существовании абсолютно надежных доказательств сводится к вопросу о том, в какой мере историческая эволюция доказательства в рамках теории гарантирует его полное очищение от ассерторических

[9] См.: *Харди Г.* Двенадцать лекций о Рамануджане. М., 2002.

очевидностей. Здесь возможны и фактически существуют две гипотезы. Первая из них, которую можно назвать фундаменталистской, состоит в том, что процесс вызревания математического доказательства конечен и что математики, по крайней мере в развитых теориях, имеют дело с завершенными доказательствами. Вторая (релятивистская) гипотеза состоит в том, что историческое очищение доказательства от ненадежных в абсолютном смысле элементов представляет собой бесконечный процесс, ведущий к повышению его надежности и строгости, но никогда не достигающий предела. С этой точки зрения в математике могут существовать более надежные и менее надежные доказательства, но не существует и не может существовать доказательств окончательных, завершенных и абсолютно надежных.

Рассмотрим первую позицию. Будем называть доказательство *надежным*, или *завершенным*, если оно не может быть опровергнуто посредством контрпримеров. Будем называть доказательство *строгим*, или *герметичным*, если оно не содержит в себе неявных (не оговоренных в условиях) предпосылок. Надежное доказательство, очевидно, может быть нестрогим. Таковы почти все геометрические доказательства у самого Евклида: эти доказательства не подвержены контрпримерам и подтверждаются как корректные во всех последующих более строгих изложениях геометрии, но они, очевидно, не являются строгими, поскольку часто опирались на предпосылки, не содержавшиеся в оговоренных условиях. И это строго доказал Д. Гильберт.

В своем становлении доказательство проходит разные ступени. Первоначально оно может использовать интуитивные понятия, не являющиеся в достаточной степени определенными, а также скрытые эмпирические и индуктивные доводы и, таким образом, быть далеким от идеала непреложного, абсолютно надежного умозаключения. Иными словами, доказательство на первых стадиях своего становления может опираться как на аподиктические, так и на ассерторические очевидности, и, пока это так, надежность доказательства остается проблематичной. Вопрос о возможности достижения надежности математического доказательства сводится к вопросу о том, обеспечивает ли естественная эволюция математической теории полное очищение своих доказательств от ассерторических элементов. Анализ развития отдельных логических и математических теорий позволяет дать утвердительный ответ на этот вопрос. Речь идет прежде всего о таких теориях, как исчисление высказываний и предикатов первого порядка в логике, арифметике, геометрии и некоторых других теориях.

История математики убедительно свидетельствует, что, хотя имевшие место доказательства и могут корректироваться и даже опровергаться, они тем не менее никогда не корректируются до бесконечности. Для любого математического доказательства, как показывает опыт, наступает стадия окончательного признания, достигнув которой оно может изменяться лишь в плане логического упрощения, обобщения или интерпретации результата, но не в плане сомнений относительно наличия теоремы, т. е. самого факта следования определенных выводов из определенной системы посылок. Опыт истории математики показывает, что любое математическое доказательство по истечении определенного времени либо устраняется критикой как ошибочное, либо достигает состояния завершенности, полной внутренней определенности, гарантирующей его надежность. Математическая практика не подтверждает факта постоянной корректировки теорем и уточнения их условий, что наблюдалось бы в случае бесконечности процесса его становления как надежного. Любая математическая теорема неизбежно стабилизируется, приобретая значение непреложного факта в рамках соответствующей теории.

Возможность абсолютного освобождения математического рассуждения от ассерторических доводов обусловлена прежде всего особым статусом аподиктической очевидности в нашем сознании. Различение аподиктического и ассерторического знания, будучи деятельностным по своей природе, является сущностным для нашего сознания и вытекает из его саморефлексии. Сколь непреложно мы воспринимаем содержание аподиктической истины, столь же непреложно мы воспринимаем и сам факт ее аподиктичности. Иными словами, различие между ассерторической и аподиктической очевидностью дано нашему сознанию с аподиктической очевидностью. Это обстоятельство лежит в основе нашей способности отличать доказательство от цепочки умозаключений, имеющих только вероятностный характер, и определяет эффективность механизма очищения математических рассуждений от допущений ассерторического порядка. Математик, конечно, может незаметно для самого себя использовать ассерторические допущения, но, как правило, в дальнейшем он обнаруживает свою ошибку. Субъективная убедительность доказательства, имеет с этой точки зрения вполне объективные основания: она состоит в уверенности, что каждый его шаг осуществлен в рамках аподиктической очевидности.

Несравненно более сильной и, как показывает практика, абсолютной критериальной способностью обладает **сообщество** математиков. Абсолютная критериальность математического сообщества проистекает из того обстоятельства, что всякая аподиктичность выступает для человеческого сознания как интерсубъективность, как нечто безусловно приемлемое всеми. Отдельный математик, вследствие определенных субъективных особенностей своего мышления, может достаточно долго не замечать некоторой неявной предпосылки в своих рассуждениях. Но если ошибка субъективна, то в высшей степени маловероятно, что она не будет замечена другими математиками. Практически сообщество математиков доводит любое доказательство до полной ясности всех его шагов и либо включает его в класс признанных истин, либо отвергает его. Имея в виду это обстоятельство мы будем говорить, что сообщество математиков обладает *абсолютной критериальностью* в отношении надежности математического доказательства. Суть этого положения состоит в том, что не существует доказательств, относительно которых математическое сообщество не вынесло бы *окончательного вердикта в исторически конечное время*. Известно много примеров ошибочных доказательств, которые в течение некоторого времени признавались математиками в качестве истинных, но все такие ошибки, если теорема приобретала известность и вовлекалась в практику, обычно раскрывались еще при жизни автора.

Тезис об абсолютной критериальности математического сообщества, как кажется, можно поставить под сомнение, исходя из тривиального вероятностного соображения, состоящего в том, что если отдельный математик по разным причинам не гарантирован от ошибок, то не гарантировано от них и сообщество математиков: хотя и с очень малой вероятностью, но оно может заблуждаться относительно любой истины и как угодно длительное время. Это рассуждение, однако, ошибочно. Оно не учитывает принципиальной конечности и системности математического рассуждения.

Возможность абсолютной очистки доказательства от дефектов существенно связана с его конечностью. Математическое доказательство представляет собой конечную процедуру или, точнее говоря, деятельность в конечном поле возможностей. По содержанию своих понятий математическая теория может быть как конечной, так и бесконечной, т. е. как связанной с понятием бесконечности, так и не связанной с ним. Однако как процедура обоснования некоторого тезиса доказательство представляет собой всегда конечную цепь логических переходов. Всякое доказательство распадается на конечное число шагов, относительно каждого из которых мы можем поставить вопрос о его законности и решить его общезначимым образом через соотнесение со сферой аподиктической очевидности. Фундаментальным отличием математического доказательства от всех других типов рассуждения является его проверяемость через редукцию к аподиктической очевидности всех его шагов.

Математическое доказательство является не углублением содержания теории, не совершенствованием ее понятий, но скорее построением конструкции в пространстве готовых объектов, возможные действия с которыми однозначно заданы их определениями. Но такого рода комбинаторная деятельность в конечном пространстве возможностей либо не достигает цели, либо достигает, т. е. получает абсолютное завершение.

Рассмотрим для простоты в качестве примера процесс решения простой шахматной задачи. Пусть ситуация на доске такова, что белые начинают и дают мат в два хода, и пусть сообщество шахматистов признало, что это действительно так и что мат для черных в данной ситуации неизбежен. Допускаем ли мы, что это заключение относительно и что некий сверхгениальный шахматист найдет здесь выход из положения и спасет черных? Конечно нет. И нетрудно понять, на чем базируется здесь наша уверенность. Шахматная ситуация определена конечным числом фигур, каждая из которых может влиять на нее лишь конечным числом движений. Шахматист признает неизбежность мата, если он видит, что у него нет возможности сдвинуть короля в безопасное место, что ни одна из фигур не может прикрыть его от шаха или уничтожить нападающую фигуру. Для абсолютного решения вопроса здесь достаточно просмотреть *конечное* число вариантов защиты и, если ни один из них не может быть реализован, шахматист должен признать неизбежность мата, и эта констатация является абсолютной, не подверженной корректировке при сохранении установленных правил шахматной игры.

Этот не совсем математический пример полностью применим, с нашей точки зрения, и ко всем математическим рассуждениям и механизмам их проверки. Отдельный математик, конечно, может сделать техническую ошибку либо допустить вывод, не являющийся общезначимым, но это исключено для сообщества в целом, по крайней мере ясно, что оно не может не обнаружить этой ошибки в процессе анализа доказательства. Математическое доказательство как деятельность в конечном поле аподиктически определенных комбинаций имеет абсолютный и с полной определенностью фиксируемый результат. Математические рассуждения отличаются от содержательных не тем, что они гарантированы от ошибок, а тем, что они *неизбежно способны достигнуть полного освобождения от ошибок*, т. е. состояния полной надежности.

Разница между решением шахматной задачи и математическим доказательством состоит лишь в том, что точные определения математических объектов, а иногда и допустимых правил действия, не всегда заданы явным образом с самого начала, а часто вырабатываются в самой «игре». Математическая игра в отличие от шахматной на некотором этапе может обходиться без точной кодификации правил действия с некоторыми фигурами (объектами), опираясь лишь на общее согласие играющих. Здесь могут возникать неясности и недоразумения, неявное использование доводов ассерторического порядка и т. п. Однако это различие не меняет сути дела, ибо созревание системы доказательств, относящихся к теории, неизбежно приводит к однозначному определению всех объектов на базе исходных понятий и к устранению всех недоразумений. Сторонники релятивистской концепции доказательства могли бы защитить свой тезис о вечной незавершенности доказательства, если бы они могли показать, что в математическом доказательстве могут существовать шаги, не допускающие редукции к первичным, аподиктически определенным переходам.

Хотя доказательство математической теоремы по своей сути является деятельностью с идеальными предметами, она, как и деятельность с реальными предметами, имеет категорический характер в плане результата. Трехлетний ребенок уверенно строит пирамиду из кружочков, накладывая их один на другой по величине. Его знания о мире еще незначительны, ему предстоит длинный путь углубления своих представлений о мире, но то, что он сделал сейчас, является абсолютным: расположить кружочки по величине более совершенным образом не удастся более ни ему и никому другому. Комбинация в конечном множестве объектов, удовлетворяющая заданному свойству, достигнута и сам вопрос о ее относительности является абсурдным. Можно, конечно, возразить следующим образом: «Расположение кружочков по величине окончательно, если принять неизменными (абсолютно стабильными) представления о большем и меньшем, которыми ребенок руководствовался. Но могут измениться и эти представления». Это возражение, несмотря на всю его гипотетичность, можно принять. Тогда мы должны будем говорить о *предельной* завершенности конечной комбинации, т. е. о такой завершенности, которая не может быть поставлена под сомнение в рамках существующей категориальной сетки. Представляется, однако, что различие между предельным и абсолютным в данном случае не имеет практического смысла.

Математическое доказательство не есть рассуждение в обычном смысле слова, для которого характерно бесконечное приближение теории к объекту, а является построением комбинации в конечном множестве объектов, имеющих определенные свойства. Завершенность такой комбинации является предельно общезначимой, поскольку и ее свойства, и каждый шаг ее построения фиксируются с аподиктической очевидностью.

Гносеологическая особенность рассматриваемой ситуации состоит в том, что мы наблюдаем здесь возможность непосредственного перехода от субъективного и только вероятного мнения отдельных индивидов к абсолютному мнению математического сообщества, утверждающего факт полной надежности доказательства, невозможности его опровержения. Здесь, однако, нет ничего незаконного, либо противоречащего теории вероятностей, ибо мнение математического сообщества относится к анализу конечной конструкции на базе *предельно достоверного* разделения аподиктических и ассерторических очевидностей. **Математическое доказательство представляет собой конечную конструкцию в сфере аподиктически очевидного.** Все отклонения от абсолютности на этом уровне являются случайными и устраняемыми в конечное время.

Здесь надо учесть еще одно обстоятельство, а именно специфическую системность математики. Математическая теория является довольно жесткой системой в том смысле, что каждая доказательная связь обусловлена здесь многими другими доказательными связями. Каждое доказательство связано с доказательствами, проведенными раньше, и само оно становится основой других доказательств и подтверждением результатов, полученных другими путями. Отдельное математическое доказательство не может существовать **вне перекрещивающейся сетки доказательств**, согласованных с ним. Математическая теория в этом смысле может быть уподоблена огромному кроссворду, где каждое слово многократно проверяется через все другие. Разница с обычным кроссвордом состоит лишь в бóльшей жесткости (внутренней детерминированности) математического кроссворда. В обычном кроссворде, чтобы считать слово угаданным, мы должны обеспечить его согласование с другими словами в двух или максимум в трех точках. В математической теории каждое доказательство представляет собой слово, которое должно совпадать с существующим массивом слов во всех своих точках, т. е. быть истинным во всех своих промежуточных результатах.

Отсюда ясно, что зрелая математическая теория полностью исключает некорректные доказательства. Доказательство имеет шансы содержать некорректное допущение только на той стадии своего развития, пока оно находится на периферии теории и не связано достаточно жестко с другими теоремами. Но по мере своего вызревания любое доказательство погружается в центр теории, в разработанную часть кроссворда, где все его леммы должны стать доказанными теоремами или аксиомами, а все объекты однозначно определенными на основе первичных объектов. Отсюда ясно, что интуитивность выводов и неопределенность объектов в математическом рассуждении — сугубо временное состояние, возможное лишь на начальном этапе его становления.

Аргумент системности представляется, в частности, очень важным для понимания статуса современных компьютерных доказательств. Многие математики склонны думать, что доказательства математических теорем, осуществленные с использованием сложных программ, не могут считаться надежными и что они в лучшем случае могут рассматриваться в качестве гипотез, направляющих поиск[10]. Здесь, однако, упускается из виду то обстоятельство, что надежность доказательства проверяется не

[10] В частности, Н.М. Нагорный полагает, что компьютерные доказательства, не допускающие записи в виде текста и традиционной проверки, «могут быть эвристически полезными, но ни при каких обстоятельствах не могут претендовать на окончательное решение проблемы». (Цит. по: *Кудрявцев Л.Д.* Современная математика и ее преподавание. М., 1985. С. 103–104.)

только прямым анализом его шагов, но и его согласованностью с другими доказательствами. Учитывая это обстоятельство можно утверждать, что компьютерная математика также не ограничена в своем движении к надежности. Одна программа может проверять другую, и, как и в случае с обычными доказательствами, полная коррекция доказательства потребует лишь конечное число проверок.

Мы можем заключить, что математическое сообщество действительно обладает достаточными критериями абсолютной надежности доказательств. Если общее признание доказательства представляет субъективный (хотя и в высшей степени надежный) критерий такого рода, то включенность доказательства в центр теории, согласованность его с другими доказательствами являются объективным и однозначным критерием.

Еще раз подчеркнем, что вероятностные соображения типа того, что если может заблуждаться один математик, то может заблуждаться на неопределенное время и математическое сообщество в целом, что повторные проверки не способны вывести нас за рамки вероятного результата и т. п., являются неприменимыми к эволюции математического доказательства.

С абстрактно теоретической точки зрения можно допустить, что все человечество с какой-то степенью вероятности может заблуждаться, считая истинным равенство $2 + 2 = 4$. Но это допущение не учитывает системности теории. Ошибка в таком равенстве, будь она реальной, должна была бы войти в тысячи других равенств, в бесконечный кроссворд математических слов и остаться при этом незамеченной. Если бы такая ситуация действительно могла иметь место, то ее нельзя было бы считать случайной. Этот факт можно было бы объяснить только наличием некоторой другой системы аподиктических очевидностей, что в принципе исключено их статусом (по определению).

Ситуация с достижимостью окончательного доказательства в математической теории может быть сформулирована как задача полной (предельной) настройки в конечной саморегулирующейся системе. Если имеется система с конечным числом состояний, упорядоченных по некоторому параметру, и имеется постоянно действующий фактор, способствующий с преобладающей вероятностью переходу от данного состояния к более высокому, то можно утверждать, что такого рода система достигает предельного (наилучшего) состояния в конечное время. Каждое доказательство содержит в себе конечное число ошибок и его историческое совершенствование может быть представлено в виде конечной последовательности состояний, упорядоченных по возрастанию корректности. Теоретическая коммуникация, в которую доказательство включено, является постоянно действующим фактором, обеспечивающим его переход от одного состояния к более высокому.

В математической теории, как и в любой теории, возможны ошибки, идущие от человека, от ограниченности его внимания и памяти, т. е. здесь происходит обычное движение от несовершенного к более совершенному. Основная особенность математики, отличающая ее от эмпирических наук, состоит в том, что она достигает окончательного установления своих истин и предельно ясной констатации этого состояния в конкретных случаях.

Критика математического эмпиризма и релятивизма

Сомнения в абсолютной строгости математического доказательства (в возможности достижения полной строгости) высказывались в нашем веке многими математиками и философами. В большинстве случаев, однако, эти высказывания имели абстрактный характер и не подкреплялись систематической аргументацией. В серии статей, появившихся в The British Journal of the Philosophy of Science в 1960 — 1963 гг., И. Лакатос, по-видимому, впервые представил эти сомнения в достаточно концептуализированной форме. Аргументы Лакатоса заслуживают подробного рассмотрения, т. к. до сих пор они остаются основой релятивистской критики математики.

Замысел Лакатоса состоял в том, чтобы показать, что математическое доказательство никогда не избавляется от возможности контрпримеров и, таким образом, никогда не становится абсолютно строгим и надежным. Используя конкретный пример, а именно догадку Л. Эйлера о том, что вершины (V) ребра (E) и грани (F) многогранника всегда связаны соотношением $V - E + F = 2$, он показывает, как под влиянием контрпримеров математики переходили ко все новым и новым доказательствам этой догадки, не достигая при этом его полного завершения.

С логической точки зрения контрпримеры у Лакатоса разделяются на три типа.

1. *Локальные, но не глобальные*. Такого рода контрпримеры опровергают отдельные утверждения (леммы), используемые в доказательстве, не ставя под сомнение истинности доказываемого утверждения (догадки). Контрпримеры этого типа говорят об ошибочности некоторых предположений, используемых в доказательстве, и являются эвристическими контрпримерами, побуждающими к уточнению доказательства.

2. *Локальные и одновременно глобальные*. Такого рода контрпримеры опровергают как теорему (догадку), так и некоторую лемму, используемую при доказательстве. Они не ставят под сомнение правильность теоремы, т. к. не исключают положения, что при исправлении леммы она может быть доказуема.

3. *Глобальные, но не локальные.* Это тот случай, когда объект, удовлетворяя всем условиям теоремы и всем промежуточным леммам, не удовлетворяет самой теореме. Такого рода контрпримеры свидетельствуют о неполноте условий, о наличии скрытых предпосылок в рассуждении, т. е. о нестрогости доказательства. Мы имеем здесь дело с логическими контрпримерами, отвергающими доказательство.

Лакатос стремился показать, что эволюция доказательства никогда не доводит его до такой степени совершенства, при которой оно получило бы полную гарантию от контрпримеров, в том числе и от контрпримеров последнего типа. Таким образом, Лакатос отрицает идею абсолютной надежности и абсолютной строгости доказательства, т. е. идею завершенного доказательства вообще.

В своей реакции на контрпримеры доказательство, по Лакатосу, проходит несколько стадий. Основные из них следующие.

1. *Стадия устранения монстров.* На этой стадии мы избавляемся от контрпримеров, придумывая повод, исключающий их из числа объектов, удовлетворяющих определенным условиям. Некоторые контрпримеры к теореме Эйлера, как показывает Лакатос, были сняты через уточнение понятия многогранника, которое лишало спорную фигуру права называться многогранником и сохраняло возможность говорить о теореме Эйлера как об истинной для всех многогранников.

2. *Стадия устранения исключений*. Это та стадия в доказательстве, на которой мы осознаем, что объекты, к которым относится теорема, являются лишь подклассом некоторого более широкого класса объектов. Мы теперь явным образом ограничиваем условия теоремы, начиная ее с выражений типа: «Все простые многогранники...», «Все выпуклые многогранники...» и т. п. Строгость теоремы зависит теперь от точности ограничивающих условий.

3. *Стадия анализа доказательства*. Иногда устранение монстров и устранение исключений могут проходить, по Лакатосу, без рассмотрения доказательства как такового. Здесь мы находимся на уровне гипотез ad hoc, которые могут быть более или мнение удачными, но никогда не могут гарантировать точности условий и полной надежности теоремы. Этот недостаток устраняется, по Лакатосу, лишь тогда, когда мы от анализа контрпримеров переходим к анализу самого доказательства с намерением выявить упущения в его логике, ставшие причиной контрпримеров.

Вопрос о том, может ли математическое доказательство достигнуть уровня полной строгости или завершенности, сводится теперь к вопросу, можем ли мы на какой-либо стадии анализа доказательства гарантировать отсутствие в доказательстве логических (глобальных, но не локальных) контрпримеров. Ответ Лакатоса состоит в том, что этот идеал недостижим даже в тех случаях, в которых мы можем предполагать законченность доказательства.

Для двух первых способов уточнения доказательства этот вывод Лакатоса представляется достаточно убедительным. Метод устранения монстров и метод устранения исключений основаны на том, чтобы посредством конечного числа признаков исключить в принципе бесконечное многообразие объектов, не удовлетворяющих теореме. Нет никаких гарантий того, что эта задача является выполнимой для всех классов объектов. Во всяком случае, ясно, что, двигаясь таким образом по линии, так сказать, исчерпывания отрицательной бесконечности, мы не имеем возможности зафиксировать момент завершения процесса, даже если бы этот момент фактически оказался достигнутым.

Лакатос считает, что и метод анализа доказательства, будучи наиболее эффективным с точки зрения устранения контрпримеров, также не гарантирует полного успеха в уточнении доказательства. Тривиальные леммы, к которым сводится рассуждение в этом случае, по мнению Лакатоса, также не обладает полной надежностью. История математики, говорит Лакатос, постоянно демонстрирует нам, что тривиально истинные леммы могут превратиться в тривиально ложные и что леммы, опущенные в доказательствах вследствие их полной очевидности, «могут быть не только неверными, но и несовместимыми»[11]. Уточнение доказательства в стремлении сделать его окончательно строгим представляет собой, по Лакатосу, бесконечный спуск, останавливающийся в данное время на том уровне, где существующие критерии строгости не обнаруживают контрпримеров или логических дефектов. В развитии математических теорий этот спуск проявляется в том, что каждое поколение математиков стремится все более ограничить сферу непосредственных очевидностей, считая необходимым доказать то, что ранее принималось без доказательства. Но прогресс, достигаемый посредством такого увеличения строгос-

[11] *Лакатос И.* Доказательства и опровержения. Как доказываются теоремы. М., 1967. С. 65.

ти, всегда остается лишь относительным, не устраняющим возможности новых контрпримеров.

Лакатос согласен с тем, что любое реальное доказательство сводится в конечном итоге к последовательности тривиальных переходов, которые мы принимаем только на основе их непосредственной очевидности. Однако он не допускает очевидностей, заслуживающих абсолютного доверия. Он убежден в том, что каждая из этих тривиальных очевидностей может сохранять в себе некоторую некорректность и, таким образом, может стать источником новых контрпримеров.

Строгость доказательства, делает вывод Лакатос, всегда относительна, она зависисит от исторически изменяющегося уровня строгости анализа доказательства, т. е. от критериев строгости, которые не остаются неизменными. Мы, считает Лакатос, принимаем теорему в качестве строгой не потому, что она достигла некоторого абсолютного основания и гарантирована от контрпримеров, а потому, что в данный момент она не имеет видимых контрпримеров и видимых логических дефектов с точки зрения принятых критериев строгости. «При каждой "революции строгости", — пишет Лакатос, — анализ доказательства проникал все глубже в доказательство вплоть до обосновывающего слоя, хорошо знакомого основного знания, где верх правила кристально ясная интуиция, и основанная на ней строгость доказательства, а критика изгонялась. Таким образом, различные уровни строгости доказательства отличаются только местом, где должен остановиться критицизм и должно начаться подтверждение. Однако окончательная "достоверность" никогда не может быть достигнута, "основания" никогда не могут быть обоснованы. "Хитрость разума" превращает всякое увеличение строгости в увеличение содержания, в цель математики»[12]. Функция доказательств, по Лакатосу, состоит не в том, чтобы обеспечить безупречный вывод догадки из определенных условий, а в том, чтобы максимально улучшить догадку. Смысл доказывания тео-

---

[12] *Лакатос И.* Доказательства и опровержения. Как доказываются теоремы. С. 80.

рем состоит не в достижении абсолютной строгости, но лишь в постоянном приближении к ней.

С нашей точки зрения, основная ошибка Лакатоса состоит в том, что он не отделяет ассерторических очевидностей от аподиктических и не осознает особого обосновательного статуса последних. Математический релятивизм Лакатоса существенно связан с квазиэмпирическим воззрением на математику, согласно которому математические очевидности в своей основе являются очевидностями индуктивного порядка. Это воззрение, однако, явно не достаточно обосновано, и оно полностью опровергается на основе более глубокого анализа природы первичных математических идеализаций. Дело в том, что первичные очевидности математики относятся к универсальным структурам мышления, они внеэмпиричны, вневременны и поэтому недоступны для корректировки на основе каких-либо частных контрпримеров. Это значит, что регресс в посылках не может быть бесконечным. Он неизбежно задерживается на уровне аподиктических очевидностей или посредством однозначно определенных утверждений, принятых в качестве аксиом.

Лакатос также недостаточно различает понятия строгости и надежности доказательства, выводя при этом недостижимость надежности из недостижимости окончательной строгости. Ясно, однако, что строгость доказательства может возрастать и после достижения им полной надежности. Аксиоматизация и формализация, несомненно, увеличивают строгость доказательств, но они никогда не дезавуируют законченных содержательных доказательств в смысле зависисмости определенных следствий от определенных посылок. Совершенствование языка и критериев строгости в зрелой теории не опровергает принятых теорем, а ориентируется на них как на свой исходный и абсолютный базис. Бесконечный процесс обновления языка математики и уточнения критериев строгости не означает бесконечной корректировки посылок и бесконечного процесса устранения контрпримеров. Историческое углубление анализа доказательства не может поколебать завершенные доказательства и систему признанных теорем.

С другой стороны, Лакатос прав в том, что каждая новая эпоха в математике сужает интуитивный базис математики, заключая в строгие определения те понятия и утверждения, которые использовались раньше на интуитивном уровне. История понятий числа, функции, можества, алгоритма и т. п. хорошо иллюстрируют то положение, что все интуитивное в математике рано или поздно эксплицируется, оформляется в точном языке, задается аксиоматически и формализуется. Но Лакатос, несомненно, ошибался, допуская, что такого рода экспликация очевидностей может поставить под сомнение признанные утверждения теории. Эта идея не находит никакого подтверждения в истории математического мышления и противоречит общей логике соподчинения строгости и надежности в математическом рассуждении. В действительности новые критерии строгости принимаются только в том случае, если они согласуются с уже признанным содержанием математики. Анализ доказательства не проникает в сферу сложившегося математического знания, которая представляет, таким образом, систему абсолютных и некорректируемых дедуктивных связей.

Лакатос был убежден в том, что математики не имеют и не могут иметь объективных критериев строгости, достаточных для того, чтобы однозначно зафиксировать факт строгого доказательства даже в тех случаях, в которых мы его в действительности достигли. В этом положении Лакатоса есть доля истины, состоящая в том, что не существует полной системы требований и процедур, которая позволяла бы во всех случаях производить проверку доказательства и выносить окончательный вердикт относительно его строгости. Однако позиция, проистекающая из идеи аподиктической очевидности, указывает нам путь к позитивному решению проблемы. Мы можем утверждать, что каждое доказательство неизбежно приходит к стадии завершенности, исключающей контрпримеры и что мы обладаем объективными критериями этой стадии. Этот критерий состоит, во-первых, в признании доказательства математическим сообществом, а во-вторых, во вхождении его в центр математической теории. С этой точки зрения, доказательства, признанные математическим сообществом и существенно задействованные в теории, следует считать абсолютно завершенными и неуязвимыми для критики. Эти критерии окончательной строгости, не будучи логическими, тем не менее являются общезначимыми и объективными.

Хотелось бы отметить еще одно заблуждение Лакатоса. Оно состоит в неадекватном понимании статуса математических определений. Лакатос убежден, что любое определение может быть неявно расширено, и это обстоятельство само по себе может быть источником контрпримеров. Доводы, которые Лакатос приводит здесь, страдают неясностью и оторванностью от практики математического рассуждения. Можем ли мы, к примеру, привести контрпример к теореме Пифагора, расширив понятие прямой? Конечно, при развитой фантазии можно постараться это сделать, приписав прямой, к примеру, некоторые свойства кривой линии, но вряд ли кто будет считать рассуждение, основанное на такой фантазии, рассуждением в рамках геометрии Евклида. Математические понятия в отличие от эмпирических на стадии зрелости жестко определяются через другие понятия теории, и их произвольное расширение (явное или неявное) тем самым совершенно исключается. Мы не можем изменить свойства прямой, не изменив свойств плоскости, точки, треугольника и т. д., т. е. не разрушив системы понятий теории вообще. Зрелая математическая теория не только однозначно определяет структуру своих доказательств, но и свою собственную структуру, причем таким образом, что исключается всякая возможность переопределения ее основных понятий.

Расширение содержания математических понятий, чреватое контрпримерами, возможно только на первоначальном уровне их становления, когда оно еще не вошло в жесткую систему принятых определений. Контрпримеры при доказательстве теоремы Эйлера, которые анализирует Лакатос, возникают до тех пор, пока мы рассматриваем многогранник на интуитивном уровне, вне его строгого логического определения. Но они немедленно исчезают, как только это понятие редуцируется к адекватной системе понятий, раскрывающей его содержание. Доказательство теоремы Эйлера в рамках современной топологии никем не подвергается сомнению. Диалектика доказательств и опровержений, ярко продемонстрированная Лакатосом в его книге, безусловно, имеет место на этапе **становления** теорем, но она не может быть отнесена к любой теореме и не может служить основанием для заключения о релятивности математического доказательства вообще. Используя аналогию Поппера, мы можем сказать, что в математике, как и во всякой другой науке, мы начинаем забивать сваи в болото, но в отличие от других наук эти сваи достигают здесь твердого грунта, абсолютного обосновательного слоя, не подверженного изменению. Центр зрелой математической теории является неразрушимым в том смысле, что он не допускает никаких контрпримеров и никаких опровержений. Здесь может обнаружиться лишь недостаток строгости, но не могут иметь место основания для критики его надежности.

Больше всего слабость концепции Лакатоса проявляется в том, что она противоречит фактам истории математики. Если бы Лакатос был прав, если бы наше бесконечное движение к строгости было действительно связано с постоянной корректировкой тривиальных лемм, то все наши теоремы постоянно распухали бы от добавления все новых и новых ранее упущенных лемм. Ничего подобного в реальной математике не происходит. Замечательный факт, характеризующий специфику математических теорий, состоит в том, что никакие контрпримеры никогда не разрушали их признанных результатов. Контрпримеры в математике всегда возникали только на периферии теории или в точках ее роста, но полностью устранялись в ходе ее систематического построения.

Некоторые аргументы в защиту математического релятивизма были приведены также Ф. Китчером в его книге «Природа математического мышления»[13] (1983).

[13] См.: *Kitcher Ph.* The Nature of Mathematical Knowledge. N. Y., 1983. P. 50—53.

Если Лакатос опровергал строгость математического доказательства, исходя из его строения и логики становления, то Китчер был нацелен скорее на общее философское оправдание релятивизма: он стремился доказать невозможность какой-либо стоящей альтернативы эмпиризму и релятивизму в философии математики. Особое место он уделял критике априорного созерцания, которая признается в кантовской философии математики в качестве источника исходных математических представлений.

Кантовская версия априоризма, по мнению Китчера, неявно предполагает разрыв между объектом, созерцаемым «in concreto», и понятием объекта вообще, к которому разум восходит, опираясь на это конкретное чувственное представление. Здесь, считает Китчер, возникает проблема отбрасывания несущественных свойств (irrelevance problem): мы должны уяснить критерии, на основе которых случайные свойства исходного созерцаемого объекта отделяются от необходимых. Почему, к примеру, при интуитивном восприятии остроугольного треугольника, мы заключаем, что сумма углов треугольника равна двум прямым, но не заключаем, что все треугольники остроугольны? Для того чтобы преодолеть эту трудность, мы должны, по мнению Китчера, наряду с интуицией объекта как такового допустить интуицию, разделяющую существенное от несущественного в его свойствах, т. е. интуицию более высокого порядка, не допускаемую ни в одной из версий априоризма. Китчер усматривает здесь регресс в бесконечность, которая подрывает идею априорного созерцания в целом. Кантовская версия априоризма порождает, по мнению Китчера, и другую проблему (practical impossibility problem), состоящую в том, чтобы понять, как может быть дано в чистой интуиции то, что не может быть дано в опыте, а следовательно, и в конкретном представлении (к примеру, деление отрезка до бесконечности). Наконец, считает Китчер, здесь неизбежно возникает проблема точности отражения (exactness problem): на каком основании мы можем быть уверены, что в интуитивном видении объекта мы приписываем ему в точности те свойства, которые он в действительности имеет. Речь идет здесь об адекватности интуитивного видения математических объектов и об устойчивости свойств, фиксируемых в чистом созерцании.

Указанные проблемы, по мнению Китчера, непреодолимы для априоризма, а следовательно, обоснование надежности математического доказательства, опирающееся на какую-либо версию априорной интуиции, не может быть удовлетворительным. Соображения, проистекающие из анализа априоризма и из реальной практики современной науки, по мнению Китчера, достаточны для того, чтобы считать неразумной саму возможность формировать абсолютную веру на базе какой-либо интуиции. Интуиция, считает Китчер, будь она конструктивистской или платонистской, хорошо или плохо определенной, не может нести той познавательной нагрузки, которую предписывает ей априоризм[14].

Хотя математическая теория и не может быть отвергнута прямым экспериментом, она, по мнению Китчера, подвержена косвенному (теоретическому и социальному) опровержению. Если, к примеру, неевклидова геометрия становится вполне пригодной для теоретического описания реальности, то универсальная истинность евклидовой геометрии в определенном смысле ставится под сомнение. С этой точки зрения практика современной математической физики, считает Китчер, может рассматриваться в качестве дополнительного аргумента против априоризма.

Надо признать, что указанные Китчером моменты действительно фиксируют слабости кантовского априоризма. Дело в том, что, отвергнув эмпиризм в обосновании математики, Кант при этом сохранил основную конструкцию эмпиризма, оставив конкретный чувственный образ в качестве исходного для всей системы математических представлений. Он прав и в том, что Кант, следуя своей логике, должен был либо приписать сознанию некоторые общие математические представления с самого начала, либо оставить математику на уровне тривиальностей, данных в непосредственном созерцании.

[14] См.: *Kitcher Ph.* The Nature of Mathematical Knowledge. P. 64.

Эти возражения, однако, устраняются при деятельностной трактовке априоризма.

Созерцание конкретного чувственного объекта само по себе, конечно, не дает нам основания отвлекаться от одних его свойств как случайных и удерживать другие как необходимые. Основания для такого отвлечения открываются здесь только на основе опыта и индукции. Однако ситуация меняется при переходе к сфере априорной конкретности. Процесс формирования математических образов определяется здесь не чувственным восприятием конкретного, но операциональной мысленной активностью субъекта в сфере праксеологических идеализаций. Посредством мысленной вариации мы создаем здесь весь ряд допустимых объектов и с самого начала имеем дело не только с данным конкретным треугольником, но и с треугольником вообще, как общим представлением, достигаемым в сфере интеллектуальной вариации. Доказательство теоремы о сумме углов треугольника является универсальным вследствие того факта, что возможность всех необходимых для этого построений не зависит ни от величины углов, ни от длины сторон треугольника, т. е. оно устойчиво ко всем возможным вариациям этой фигуры. Опираясь на изображение остроугольного треугольника, мы можем доказывать теорему о треугольнике вообще по той причине, что мы доказываем ее, опираясь только на те аспекты представления о треугольнике, которые остаются неизменными в рамках его сущностной вариации.

Вторая проблема, которую поставил Китчер, а именно проблема практической нереализуемости априорных требований к математическим объектам, также связана со спецификой априорного знания. В эмпирической сфере мы можем утверждать лишь то, что обосновано конечным опытом, и должны рассматривать все остальное лишь в качестве более или менее вероятной гипотезы. Эмпирические утверждения не выходят за пределы конечного. Онтологические утверждения, напротив, продиктованы интенциями деятельности, и они органически связаны с идеей бесконечности, ибо всякая человеческая деятельность есть выход за пределы конечного. Возможность бесконечной делимости отрезка есть следствие бесконечности пространства и времени, а эти последние представления — необходимая праксеологическая гипотеза, проистекающая из ориентации нашей деятельности на преодоление конечности. Мы должны понять, что позитивный чувственный опыт не определяет истин всеобщей онтологии. Онтология вместе с зависимыми от нее принципами математики продиктована деятельностью, а именно универсальными регулятивами деятельности. Постулирование бесконечности — необходимая часть категориальной, а не эмпирической онтологии, а вследствие этого и необходимый аспект исходных математических представлений.

Вопрос об адекватности отражения объекта в понятиях имеет смысл только в отношении объектов опыта, допускающих автономное исследование, но он не имеет отношения к объектам априорным. Принципы, заданные **аподиктической** интуицией, являются исходными принципами **рационального мышления** и не могут ставиться под сомнение в его рамках. Свойства математического треугольника задаются в сфере аподиктической очевидности, т. е. на предельном уровне точности, доступном для мышления. Вопрос об адекватности описания свойств объектов, заданных с аподиктической очевидностью, не может быть признан корректным.

Далее. Уменьшение веса элементарной математики в физике также не может рассматриваться в качестве веского аргумента против априоризма. Априорность математической теории не означает ее эмпирической универсальности. Уже в дискуссиях о неевклидовых геометриях в конце XIX в. было хорошо осознано, что наличие многих геометрий в структуре математики и их широкая применимость в физике не подрывает особого статуса евклидовой геометрии, ее уникального положения как необходимой формы видения реальности. Наличие многих геометрий говорит лишь о том, что не вся геометрия одинаково априорна, но сам по себе этот факт не опровергает тезиса об «исторически первичной» априорности именно евклидовой геометрии.

Китчеровскую критику априоризма можно признать последовательной, только если встать на почву психологической теории познания, из которой он исходит. С психологической точки зрения действительно нельзя доказать наличия такой сущности, как аподиктическая очевидность, и с этой точки зрения выглядит вполне законным тезис, что всякая интуиция столь же ограниченна и ненадежна, как и сила обычного восприятия. Представляется, однако, что сама идея психологизма для теории познания является несостоятельной. Любая философская теория познания прежде всего должна выявить принципы, имеющие интерсубъективное значение. По этой причине она не может исходить из фактов психологии и их обобщений. Эти факты приобретают гносеологический статус только тогда, когда они санкционируются целевыми установками познания, т. е. тогда, когда они приобретают праксеологическое обоснование. Психологическая теория познания оставляет без объяснения основные факты, связанные с математикой: непреложность исходных математических утверждений и историческую стабильность признанных математических доказательств.

Мы считаем, что для построения адекватной философии математики необходимо исходить из факта особой достоверности математики и неправомерности отождествления ее с опытными науками. Математика покоится на твердом фундаменте аподиктической очевидности, которая является основой ее доказательств и той базой, на которой может быть построено ее обоснование.

Глава 2

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИКИ

Всякое знание находится в процессе развития, и есть много общего в логике развития математики и эмпирических наук. Математика, как и все науки, развивается от простых понятий к более сложным, от теорий конкретных к более абстрактным, она нацелена на разработку все более эффективных методов решения трудных задач, и конечные мотивы ее развития, как и мотивы развития всех других наук, лежат в сфере практики. Несмотря на свою абстрактность и кажущуюся независимость от опыта, математика, как и другие науки, эволюционирует в целом и в конечном итоге под решающим воздействием запросов науки, техники и производства. Однако специфика предмета и метода математики обусловливает некоторые особенности ее развития, существенно иной тип качественных изменений, особые критерии обоснования и т. п. Если эмпирические науки направлены на обобщение опыта и в конечном итоге на выработку эффективных рецептов практического действия, то математика нацелена прежде всего на саму науку, на изобретение и развитие символических систем, необходимых для логического оформления и систематизации теоретического знания. Математика — важнейший метод развития конкретных наук. Одна из ее главных целей заключается в усилении языка научных теорий за счет его уточнения с помощью логической операциональной символизации, внесения количественных отношений, одним словом, обеспечения математизации научного знания. Математизация научного знания — основная линия совершенствования и самой математики, и многие закономерности ее развития определены во многом реализацией именно этой задачи.

Основные этапы развития математики

В истории математики можно вычленить этапы в соответствии с общей историей человечества и его культуры, выделяя в ней соответственно период Древнего Египта, Древней Греции, Средних веков и т. д. В работах по истории математики такие чисто внешние социокультурные периодизации до сих пор преобладают. Однако можно попытаться разделить историю математики на периоды, ориентируясь на качественные изменения в ее собственном содержании. Такая периодизация истории математики была дана А.Н. Колмогоровым в его статье «Математика» в Большой советской энциклопедии. А.Н. Колмогоров выделяет четыре основных этапа в развитии математики, связанных с качественными изменениями в ее предмете: период зарождения математики, математика постоянных величин, математика переменных величин, современная математика, или математика абстрактных структур[1]. Для философского понимания математики и закономерностей ее развития такого рода периодизация более предпочтительна.

С нашей точки зрения, представляется целесообразным выделить в истории математики пять основных периодов: первичная математика, абстрактная додедуктивная математика (Египет и Вавилон), теоретическая, дедуктивная математика постоянных величин (Древняя Греция, Средние века), математика перемененных величин (XVII—XIX вв.) и современная математика, или математика абстрактных структур, начавшаяся с появления неевклидовых геометрий, которая продолжается и в настоящее время.

[1] См.: *Колмогоров А.Н.* Математика. БСЭ. Т. 26. С. 464—475.

Первая стадия развития математики относится к математическим представлениям первобытных народов. Исследование мышления первобытных народов позволяет с полной определенностью утверждать, что на этой стадии развития человеческой организации уже существовали представления о простейших геометрических фигурах, таких как треугольник, квадрат, прямоугольник, а также круг и эллипс. Эти фигуры усматриваются в орнаментах и украшениях всех древних народов. Математические представления такого типа — это, конечно, только некий элемент эстетического и практического восприятия мира и ни в какой мере не объект специального теоретического анализа. Понятия числа и счета здесь также уже присутствуют, хотя и с определенными ограничениями. Известно, что первобытный человек мог производить операции счета только с опорой на некоторые эталонные множества типа пальцев рук или частей тела. Он еще не мыслил число абстрактно как элемент ряда натуральных чисел, и одно и то же число предметов, относящееся к различным их типам, обозначалось обычно различными словами, часто без терминологического выделения их собственно количественной составляющей. Можно сказать, что древний человек оперировал только именованными числами, а не абстрактными числами натурального ряда. У него не было также идеи бесконечности ряда чисел. Все описания процедуры счета у первобытного человека фиксируют то обстоятельство, что за пределами некоторого числа, он произносил слово, указывающее на невозможность дальнейшего счета. В этом состоял важнейший недостаток первичной математики, т. к. остутствие идеи бесконечного ряда чисел исключало введение регулярных операций над числами, что, в свою очередь, закрывало путь к собственно теоретической математике, оперирующей числами вообще, независимо от их предметного содержания и их величины[2].

[2] Для более детального знакомства с особенностями древней математики см.: *Кольман Э.* История математики в древности. М., 1961, а также: История математики с древнейших времен до начала XIX столетия / Под ред. А.П. Юшкевича. М., 1970. Т. 1.

Математика Древнего Египта и Древнего Вавилона находились уже на принципиально другом уровне. В египетских папирусах мы имеем задачи на арифметические и геометрические прогресии, на вычисление площади круга, поверхности шара и объема усеченной пирамиды. Одна из задач папируса Раинда (датируется примерно 27—25 вв. до н. э.) заключается в том, чтобы разделить 60 мер зерна между десятью братьями, так чтобы каждый получил на 1/8 меры меньше, чем его старший брат, ближайший к нему по возрасту. Ясно, что египетский математик дает эти задачи не как практическое руководство при делении урожая между членами большой семьи, а для выяснения связи величин, образующих арифметическую прогрессию. Интерес здесь не практический, а чисто математический. Египетская математика (это еще в большей степени относится к математике Вавилона) по типу своих задач была несомненно математикой абстрактной, существенно нацеленной на решение проблем, которые можно было поставить в рамках выработанных математических понятий. Хотя египетская математика еще не была дедуктивной, но она была уже абстрактной, явно выходящей в своих вопросах и решениях за пределы практических потребностей. Выдающиеся достижения вавилонской математики, связанные с решением квадратных и биквадратных уравнений, с открытием способов извлечения квадратных и кубических корней, с методами вычисления пифагорейских и вавилонских троек чисел и т. п., никак не могут быть объяснены запросами практики. Это уже чисто абстрактное, интеллектуальное развертывание системы математических представлений. Математика Древней Греции перешла на принципиально новый уровень математической культуры, сделав **доказательство** осознанной и фиксируемой в математических текстах основой математического метода. Здесь была задана содержательная и методологическая парадигма, остававшаяся неизменной вплоть до XVII столетия. Математика этого периода была теоретической и одновременно дедуктивной наукой, что определило прогресс в решении конкретных задач и в решении обосновательных проблем. Она была, однако, теорией постоянных величин, т. е. математикой, которая ограничивалась арифметикой, элементарной геометрией и началами алгебры. Новая революция в математике произошла лишь в конце XVII в. с открытием других типов задач и принципиально иных методов их решения.

Мы не будем здесь вдаваться в рассмотрение более поздних этапов истории математики и в анализ их качественного отличия от предшествующих этапов. Это сделано в большом количестве обстоятельных исследований. Мы отметим здесь лишь то положение, что с момента своего зарождения в глубокой древности и до настоящего времени математическое знание находится в процессе постоянного совершенствования и качественных изменений, позволяющих говорить о существовании принципиально различных периодов его развития. Ниже мы сосредоточим внимание на особенностях развития математики, т. е. на ее внутренних закономерностях, отличающих ее развитие от развития эмпирических наук.

Свобода и детерминация в становлении математических понятий

Важной особенностью развития математики является относительная свобода ее производных понятий, заключающаяся в том, что они часто вводятся здесь из чисто логических соображений, без апелляции к представлениям, выработанным в опыте. Математик может вводить любые понятия независимо от наличия эмпирической интерпретации, наглядности или соответствия здравому смыслу.

Здесь уместно обратиться к классической характеристике сущности математики и внутренней логике ее развития, данной Г. Кантором в «Основах общего учения о многообразиях». «Математика в своем развитии совершенно свободна и связана лишь с тем само собой разумеющимся условием, что ее понятия должны быть непротиворечивы, а также должны находиться в неизменнных, установленных определениями отношениях к образованным ранее и уже имеющимся налицо испытанным понятиям... Нет нужды, как я думаю, видеть в этих принципах опасность для науки, как этого боятся многие. Во-первых, указанные условия, при которых только и может иметь место свобода образования новых чисел такого рода, что они представляют лишь ничтожный простор произволу, а во-вторых, каждое математическое понятие носит в себе необходимый корректив. Если оно неплодотворно и нецелесообразно, то это весьма скоро обнаруживается благодаря его полной непригодности, и тогда оно за отсутствием успеха отбрасывается. Мне же представляется, что гораздо большая опасность заключается во всяком излишнем ограничении математического стремления к творчеству, опасность тем большая, что в пользу этих ограничений нельзя в действительности привести никаких доводов из сущности науки. Ведь *сущность математики* заключается именно в ее *свободе*. ...Если бы Гаусс, Коши, Абель, Якоби, Вейерштрасс, Эрмит и Риман были обязаны всегда подвергать свои новые идеи метафизическому контролю, то мы бы, право, не смогли наслаждаться грандиозной системой современной теории функций, которая, хотя и была задумана и создана совершенно свободно, без всяких посторонних целей, уже и теперь в применениях к механике, астрономии и математической физике обнаруживает, как этого и следовало ожидать, свое транзиентное значение»[3]. Кантор разделяет имманентную, логическую истинность математических теорий и их транзиентную истинность, состоящую в их приложимости к реальности, описываемой опытными науками. Процесс развития математики, по его мнению, определяется прежде всего стремлением к имманентной истинности, но именно выполнение этого условия обеспечивает перспективность математических построений для науки, их транзиентное значение. Справедливость этих положений Г. Кантора не подлежит сомнению: она постоянно подтверждается развитием и практикой приложения математических теорий.

[3] *Кантор Г.* К учению о трансфинитном // Кантор Георг. Труды по теории множеств. М., 1985. С. 80.

Свобода в образовании математических понятий относится не только к современной математике; она проявлялась и на более ранних стадиях ее развития. Комплексные числа сами по себе не соответствовали никакому опыту. Они были введены из чисто логических соображений как инструмент для решения кубических уравнений. То же самое относится к иррациональным числам, к несобственным элементам в геометрии, к неевклидовым геометриям и к иерархии бесконечностей, которая обосновывается в теории множеств. Математика является более свободной от опыта, чем другие науки, в том смысле, что ее понятия и принципы не имеют никаких ограничений, кроме ограничений логических, определенных требованием непротиворечивости.

Свободное развитие математики проявляется в постоянном усложнении ее общей структуры, в появлении теорий качественно нового вида, хотя, разумеется, и связанных с исходными теориями. Развитие математического знания, как известно, началось с установления некоторых математических «фактов» и связей, относящихся к арифметике и элементарной геометрии. Следующий уровень математического знания образуют обобщения и абстракции, основанные на идеях, заключенных в теориях первого уровня. Обычная арифметика обобщается до теории рациональных и иррациональных чисел и, наконец, до теории комплексных чисел и кватернионов. Ясно, что ни иррациональные, ни комплексные числа в отличие от чисел натуральных не являются непосредственно данными для здравого смысла и представляют собой продукт логического конструирования и обобщения исходных математических представлений. Наряду с **обобщающими структурами** в математике имеют место также **структуры-абстракции**, которые выделяют лишь отдельные аспекты исходной теории и исследуют заложенные в них внутренние возможности. Такова теория групп, которая появилась на основе алгебры действительных чисел, афинная и проективная геометрии, абстрагирующиеся от метрических отношений евклидовой геометрии. Наряду с обобщениями и структурами-абстракциями в современной математике постоянно появляются **структуры-модификации**, которые строятся на основе исходных структур через сознательное изменение одной или нескольких аксиом. Первым примером таких структур явились неевклидовы геометрии. Д. Гильберт добавил к ним недезарговы, непаскалевы и неархимедовы геометрии. Аналогичные и весьма многообразные модификации возможны и в отношении арифметики. Возможно построение арифметики с отрицанием аксиомы индукции и иные нестандартные арифметики. Тенденция к обоснованию математики порождает особые структуры, которые можно назвать **структурами обоснования**. Сюда относится в первую очередь математическая логика, теория множеств и теория доказательств.

Историческое развитие математики выглядит как постоянное усложнение иерархии структур, различающихся степенью общности, степенью абстрактности, степенью удаленности от ее исторического центра и, в частности, степенью своей свободы или внешней детерминации. С другой стороны, появление некоторых математических теорий в очень сильной степени было определено запросами науки и практики. Это, несомненно, относится к таким теориям, как дифференциальное исчисление, теория вероятностей, теория поля. Другие теории более свободны в том смысле, что они были мотивированы только запросами самой математики. К таким теориям относится, к примеру, теория групп. Появление неевклидовых геометрий было еще более свободным в том смысле, что они в отличие от теории групп не были мотивированы какими-либо содержательными задачами; их появление было обусловлено лишь некоторым общим интересом к основаниям геометрии, т. е. скорее математическим мировоззрением, чем математической практикой. Наконец, можно указать значительное число теорий, которые появились вне всяких мотивов, как структуры, построенные по аналогии или как интересные конструкции, случайно обнаруженные при решении других задач. Таковы непаскалевы и недезарговы геометрии, введенные Гильбертом, многозначные логики, построенные Васильевым и Лукасевичем, нестандартный анализ Робинсона и др. Можно утверждать, что, чем дальше развивается математика, тем большее место занимают в ней свободные структуры, не мотивированные ни внешними, ни даже внутренними запросами. В этом смысле математика, несомненно, более свободна, чем опытные науки, в которых все теоретические конструкции принимаются на основе их эффективности для опыта.

Свобода математического творчества, однако, не должна абсолютизироваться. Нужно проводить различие между принципиальной свободой, о которой говорит Кантор, и реальной свободой, которая реализуется на практике. Свобода построения новых математических понятияй и теорий, казалось бы, должна обеспечивать одинаковое развитие математики по всем ее интеллектуально интересным направлениям, независимо от их содержания. Действительная картина, однако, совсем другая. Еще в начале прошлого века А. Пуанкаре высказывал удивление по поводу того, что из тысяч трудных проблем, поставленных математиками, все они в действительности сосредоточены на решении нескольких десятков из них. Чем обусловлено такое столь радикальное сужение свободы? Ответ достаточно очевиден. Основную роль здесь играет включенность математики в жизнь общества и, как следствие, наличие скрытых ценностных регулятивов, которые заставляют математиков считать одни исследования важными, другие только интересными, а третьи неглубокими или малосущественными. Это значит, что тезис об абсолютной свободе математического творчества является явно преувеличенным. Математика, как и всякая другая наука, существенно детерминирована в своем развитии задачами практики. Свобода от эмпирического содержания в образовании математических понятий не означает независимости математики от практики и от регулятивов, соединяющих человеческое мышление с интересами практики.

Замыкание математики на потребностях практики может быть наиболее ярко доказано явлением так называемого математического предвосхищения, или опережающего развития математики, которое заключается в том, что абстрактные математические структуры, построенные для решения сугубо внутренних математических проблем или даже появившиеся без всяких запросов как некоторого рода интересные логические возможности, как правило, находят впоследствии прямое приложение к проблемам физики и других теоретических наук. Кантор также указывает на это обстоятельство, говоря о применении свободно созданной теории функций в механике и астрономии. Очевидно, что эта исторически реализующаяся гармония чистой и прикладной математики как-то должна быть объяснена. Мы рассмотрим эту проблему ниже в связи с анализом процесса математизации знания.

Стабилизация и кумулятивность в развитии математики

Понимание логики развития математической теории невозможно без опоры на понятие математического факта. Под «математическим фактом» следует понимать прежде всего первичные (сингулярные) высказывания о математических объектах и их связях типа «2 + 2 = 4». Такого рода истины не доказываются и не выводятся из принципов, но подобно первоначальным фактологическим истинам эмпирических наук должны быть приняты как нечто совершенно первичное и безусловное. Истины этого типа непосредственно и с абсолютной необходимостью навязаны нашему сознанию системой онтологических предствлений, и они не могут быть изменены в рамках рационального познания, имеющего данную категориальную структуру. В качестве математических фактов следует также принять и интуитивно ясные обобщения типа «а + в = в + а». Здесь мы имеем дело уже с некоторыми абстракциями от непосредственных содержательных очевидностей, но эти абстракции такого рода, что они не нарушают идеальной истинности абстрактных принципов. Общее суждение «а + в = в + а» не менее очевидно и не менее надежно, чем сингулярное утверждение типа «2 + 3 = 5».

К системе математических фактов относятся также все суждения, фиксирующие результаты внутриматематических процедур проверки, основанных на аподиктической очевидности. Если некто говорит, что число 2 является корнем уравнения $x^2 - 5x + 6 = 0$, то он утверждает безусловно истинный факт, поскольку истинность этого высказывания гарантируется проверкой в сфере аподиктически очевидных процедур.

Наконец, к фактологическому основанию математики следует отнести все признанные математические доказательства. Если некоторое доказательство принято как окончательное, то оно неустранимо как определенная связь между суждениями в математической теории вне зависимости от того, являются ли посылки этого доказательства интуитивно ясными, онтологически или эмпирически значимыми. Мы переходим в математической теории от одних ее утверждений к другим на основе аксиом, точно так же как в эмпирической теории мы переходим от одних фактов к другим на основе законов (принципов). Если говорить в общем плане, то к фактологической основе математической теории мы должны отнести все утверждения, которые обоснованы в сфере аподиктической очевидности. Это и естественно. Аподиктическая очевидность — это генетическая основа и логический фундамент любой математической теории. Вся система утверждений, будь это сингулярные высказвания, непосредственные их обобщения или сложные теоремы, которая строго сводится к этому фундаменту, выступает в дальнейшем развитии теории в качестве абсолютной фактологической основы, с которой должны быть согласованы все другие утверждения теории.

Математическая теория, как и всякая другая, начинается с элементарных фактов, а именно с очевидных высказываний относительно объектов и с установления простейших связей между ними, и лишь постепенно продвигается к своим теоретическим основаниям, к выявлению системы принципов, которая обеспечивает систематическое развертывание теории в пределах известных ее результатов. Двигаясь по этому пути, мы в конечном итоге выявляем систему аксиом, адекватную содержанию теории.

Разделение принципов и фактов как различных уровней математической теории дает возможность говорить об истинности принципов в отношении фактов, о соответствии аксиом фактологической основе математической теории. Истинность системы аксиом в этом смысле можно назвать *фактологической истинностью*, поскольку в ее основе лежит общенаучное представление об истинности как о соответствии суждений некоторому конкретному содержанию. Такое понимание математической истины объединяет математику с эмпирическими науками и ставит проблему обоснования математических принципов на основе фактов. Но диалектика теории и фактов в математике обладает определенными особенностями по сравнению с эмпирическими науками.

Важная особенность математической теории, отличающая ее от теории эмпирической, состоит в абсолютном характере ее фактологической основы. Противоречие между принципами и фактами в эмпирической теории разрешеается не обязательно в пользу фактов: здесь могут быть пересмотрены, уточнены, переинтерпретированы и даже устранены (признаны несуществующими) сами факты. Диалектика теории и фактов в эмпирических теориях неизбежно ведет к постепенному сближению обоих полюсов. Попперовская концепция относительности базовых утверждений научной теории в своей основе является верной. Но эта концепция не может быть перенесена на математику. В отличие от фактов опыта математические факты, поскольку они значимы в сфере аподиктически очевидного и полностью определены в ней, обладают абсолютной значимостью и не могут быть скорректированы на основе каких-либо теоретических соображений. Сфера математических фактов в этом отношении является абсолютной и, как следствие, внутренняя диалектика математической теории реализуется исключительно за счет перестройки системы теоретических допущений.

Особенность математической теории заключается в том, что ее исходные принципы (аксиомы) не только однозначно определяют состав возможных теорем, но и сами определяются системой уже признанных теорем. Из принципов физической теории мы выводим определенное множество заключений о фактах — внутренних связях теории, имеющих непосредственную эмпирическую интерпретацию, но сами эти факты никогда не рассматриваются здесь как однозначно определяющие собой множество принципов. В методологии физики мы говорим о том, что одна и та же система фактов в принципе может быть объяснена на основе различных теоретических гипотез. Система эмпирических фактов никогда не является достаточной для утверждения некоторых принципов как единственно возможных. В математической теории между теоремами и аксиомами существует одинаково жесткая зависимость в обе стороны: из аксиоматики следует определенное множество теорем и, напротив, принятие в качестве истинных опеределеннного числа теорем требует однозначного признания определенной аксиоматики. Если теорема Пифагора признана, то и аксиома параллельности Евклида признана и т. д. Если modus ponens позволяет нам переходить от аксиом к теоремам, то modus tollens служит основой выявления аксиом, достаточных для доказательства признанного множества теорем.

Принципиально важным для понимания математической теории является то обстоятельство, что становление аксиоматики достигает здесь предельного состояния, устраняющего возможность дальнейшего ее изменения в смысле заключенного в ней содержания. В отличие от эмпирической теории для математической теории является осмысленным понятие *завершенной системы принципов.* В этом контексте мы можем говорить также об идеальной фактологической истинности, как о полной логической симметрии принципов и фактов, устанавливающейся в конечном итоге в развивающейся математической теории. Математическая теория достигает состояния полной завершенности асиоматики точно так же, как она достигает полной завершенности своих доказательств. Это не внешняя аналогия, а сущностное тождество, проистекающее из природы математического мышления.

Математическая теория, как и теория эмпирическая, появляется первоначально как некоторая система интуитивно ясных утверждений и бесспорных логических связей, относящихся к определенной системе объектов. На этой начальной стадии мы, очевидно, не имеем еще ни полной системы принципов, необходимых для описания этих объектов, ни целостности самой системы объектов, ни гарантии логической совместности утверждений, принятых в теории. Появление первой несовершенной аксиоматики устанавливает относительное единство утверждений, выявляет логическую последовательность их развертывания и позволяет сделать всю систему теорем более целостной и законченной. Анализ этой системы приводит в конечном итоге к формулировке более полной и систематичной аксиоматики и т. д. Мы имеем основание утверждать, что в математической теории в отличие от физической эта диалектика конечна, что она завершается в конечное время полной стабилизацией аксиоматики, формулировкой ее в такой форме, которая исключает дальнейшее ее совершенствование в плане заключенного в ней содержания. Диалектика фактов и принципов в математической теории неизбежно завершается достижением предела, выявлением системы аксиом, идеально соответствующей содержанию теории.

Аксиоматика геометрии, разработанная Д. Гильбертом, после нескольких исправлений, внесенных вскоре после ее опубликования, остается признанной как адекватная уже в течение столетия, и у нас есть все основания думать, что никто не может произвести здесь какое-либо улучшение в смысле прибавления или изъятия некоторой аксиомы. То же самое, несомненно, справедливо в отношении современной аксиоматики арифметики, теории вероятностей и ряда других аксиоматик.

Эмпирические теории в этом отношении принципиально отличаются от теорий математических. Разумеется, стремление к полноте и законченности принципов имеется и здесь, и в определенном смысле оно достигается. Принципы механики, сформулированные Ньютоном, представляют собой пример такого рода завершенной теоретической системы. Однако физическая теория, будучи нацелена на определенный внешний предмет, всегда остается открытой для логических контрпримеров и для соответствующей перестройки принципов. Стабилизация физической теории — это стабилизация по отношению к фрагменту опыта, т. е. к некоторой внетеоретической реальности, и она может быть реализована всегда лишь с некоторым приближением за счет частных гипотез и в пределах корректности фактов, которые не имеют абсолютного значения. Идеальное единство фактов и принципов достигается только в математической теории, вследствие безусловной однозначности сферы фактов и конечности процесса абсолютного оправдания принципов.

Из способности математических теорий к полной стабилизации проистекает особенность ее развития, которая обозначается как его кумулятивность. Опытные науки никогда не достигают уровня полной стабильности и консервации в жесткой форме; их развитие связано с постоянной корректировкой принципов и с опровержением их как ложных или недостаточно точных. Кумулятивность развития математики состоит в том, что здесь нет процесса отбрасывания прежних теорий как ложных и все достигнутое остается в качестве безусловного завоевания, меняясь от эпохи к эпохе только в плане своего языкового оформления. Возникновение теории бесконечных множеств не устранило арифметики и алгебры конечных величин как ложных. Новые математические теории располагаются рядом со старыми, но не на месте старых как опровергнутых или ложных. Можно сказать, что развитие математики представляет собой постепенное накопление некорректируемых структур. К таким безусловно некорректируемым в своей основе структурам относятся, несомненно, арифметика, геометрия, математический анализ, теория вероятностей и многие другие теории современой математики. Признаком полной структурной стабилизации математической теории является ее аксиоматизация, признанная математическим сообществом в качестве адекватной.

Существует две схемы развития теоретических систем, которые условно можно назвать схемой города и схемой кристалла. Система эмпирических теорий развивается по схеме города: развитие периферии приводит здесь к постоянной перестройке центра. Математика развивается по принципиально иной схеме. Развитие периферии здесь не затрагивает сложившегося центра. Центр математики не претерпевает никаких изменений, кроме языкового оформления и понимания значимости тех или иных утверждений. Центральные теории современной математики, имеющие признанные аксиоматики, конечно, не могут перестать существовать под влиянием каких-либо изменений в новых областях математического знания. Это не значит, что аксиоматизированные теории полностью останавливаются в своем внутреннем развитии, а значит лишь то, что внутреннее развитие в этих теориях не может изменить их признанной основы, т. е. их аксиоматического определения.

Эта особенность развития математики послужила основой для тезиса о невозможности революций в математике. Происходят ли революции в математике, если математика не отбрасывает никаких ранее изобретенных теорий? С нашей точки зрения, революции в математике имеют место, как и в других науках. Тот факт, что прежние теории не опровергаются, а так сказать, только отодвигаются в сторону, не упраздняет того факта, что математика на некоторых этапах своего развития переживает коренные изменения в своем содержании и в своих методах, которые могут быть охарактеризованы как революционные. Появление дедуктивного метода в древнегреческой математике, возникновение дифференциального и интегрального исчисления, открытие неевклидовых геометрий и теории множеств — несомненно, революционные стадии в развитии математики, существенно изменившие ее содержание и методы. Революционность изменений в науке, как, впрочем, и в общественной жизни, должна оцениваться не мерой уничтожения существующего, а мерой продуктивного обновления, т. е. степенью эффективности новых теорий.

Логические и эвристические контрпримеры

Эмпирическая теория развивается путем диалектики четкого взаимодействия теории с фактами. Основной характеристикой этого типа теории является ее принципиальная корректируемость и потенциальная опровержимость. Опыты Галилея показали несостоятельность принципов аристотелевской физики, вследствие чего эти принципы были заменены принципами ньютоновой (классической) механики. Система принципов классической механики, казавшаяся первоначально отражающей абсолютные законы движения, была исправлена в теории относительности и в квантовой механике. Опровержимость и корректируемость — непреложный закон всякого знания, связанного с опытом.

Математическая теория существенно отличается от эмпирического знания по логике своего развития. Это отличие состоит прежде всего в том, что математика не имеет дела с фактами как с событиями в пространстве и времени. Простые утверждения арифметики и элементарной геометрии, конечно, имеют статус фактов в том смысле, что если некоторое рассуждение приводит нас к заключению, что $2 + 2 = 5$, то мы отвергаем его как софистическое, противоречащее элементарному и безусловно (конвенционально) принятому факту, что $2 + 2 = 4$.

Важным для понимания специфики математики является то, что диалектика теории и фактов не играет в развитии математики той роли, которую она играет в физике и других науках, связанных с опытом. Особенностью математической теории является то, что она не имеет обязательной эмпирической интерпретации и, таким образом, сферы внешних (независимых от теории) фактов, влияющих на корректировку принципов. Арифметика применяется там, где она применяется, и опыт, находящийся за пределами арифметики, не рассматривается как контрпример для ее аксиом. Иногда пытаются опровергнуть арифметику рассуждениями вроде того, что если в клетку тигра поместить зайца, то в этой ситуации неизбежно окажется, что $1 + 1 = 1$. При этом, однако, не задумываются над тем, почему же великое множество таких контрпримеров оказывается совершенно безвредным для арифметики. Дело в том, что арифметика как формальная и априорная структура вообще не может быть поставлена под сомнение фактами эмпирического опыта.

Кроме таких чисто внешних и, конечно, только кажущихся контрпримеров математика имеет и внутренние контрпримеры, которые выступают обычно в форме парадоксов. Такого рода контрпримеры более существенны, ибо они обнаруживают некоторое неблагополучие в определениях и доказательствах теории и неизбежно ведут к ее перестройке. В 1846 г. немецкий математик Ф. Зейдель нашел контрпример к теореме Коши о сходимости суммы ряда сходящихся функций, которая воспринималась до этого в качестве безусловно доказанной. Последующий анализ этой теоремы показал, что в доказательстве Коши была допущена ошибка, проистекавшая из-за смешения в его рассуждениях понятий сходимости и равномерной сходимости. История математики дает нам множество примеров такого рода, т. е. ошибочных рассуждений, первоначально принятых математиками за правильные и разоблаченных лишь через некоторое время. Это говорит о том, что математическое мышление, как и всякое другое, продвигается к истине посредством догадок и рассуждений, не свободных от ошибок.

История математики показывает, однако, что процесс совершенствования математической теории через устранение логических контрпримеров не является для нее основным. Логические контрпримеры к признанным теоремам — очень редкое явление в развитии математики. Они легко устраняются уточнением некоторых определений. Доказанное в математике и принятое математическим сообществом, как правило, принимается навсегда и никогда не входит в противоречие с какими-либо фактами. Наиболее эффективные механизмы развития математического знания связаны не с диалектикой теории и факта, которая характеризует развитие эмпирических теорий, а скорее со стремлением к совершенствованию структуры математики и математического метода в целом, которое реализуется через устранение так называемых **эвристических** контрпримеров.

Эвристические контрпримеры — это факты, которые прямо не противоречат теории, но которые вместе с тем описываются в ее терминах и указывают на ограниченность ее возможностей как механизма объяснения. Произвольный сегмент параболы, конечно, имеет определенную площадь, которую можно попытаться как-то вычислить, но довольно ясно, что элементарная геометрия не дает общего приема вычисления площади этого сегмента и общих подходов к определению площадей криволинейных фигур вообще. Этот факт не опровергает евклидовой геометрии, но он демонстрирует ее ограниченность и, таким образом, выступает в качестве ее эвристического контрпримера, указывающего на перспективу ее совершенствования.

Важнейшая особенность развития математики состоит в том, что это развитие определяется не логическими, а главным образом эвристическими контрпримерами, т. е. фактами, показывающими ограниченность существующей теории для решения некоторого класса осмысленных задач. Математическая теория развивается не через преодоление логических противоречий (парадоксов) или противоречий между теорией и фактами, а через механизмы обобщения, абстрагирования и интерпретации аксиом, которые направлены на ассимиляцию эвристических контрпримеров. Это основной механизм становления математической науки. Роль логических контрпримеров в развитии математики невелика, она сводится к уточнению понятий и к пересмотру плохо доказанных теорем.

Математические теории развиваются прежде всего, путем логического обобщения. От натуральных чисел математики сначала перешли к рациональным и иррациональным числам, затем к общему понятию действительного числа и, наконец, к теории мнимых чисел. От квадратных уравнений они перешли к решению уравнений кубических, биквадратных, а затем и к теории уравнений произвольных степеней. От измерения площадей прямолинейных фигур — к измерению площади круга, эллипса и, наконец, к интегральному исчислению, которое позволило дать новое понимание площади фигуры и универсальные методы ее вычисления. Надо заметить, что во всех этих восхождениях логические контрпримеры не играли никакой роли, за исключением, может быть, факта несоизмеримости диагонали квадрата с его стороной, который косвенно способствовал введению иррациональных чисел. Важно отметить, что основной мотив всей предшествующей содержательной эволюции математики лежал не в устранении внешних или внутренних противоречий, а в обобщении теории для ассимиляции математических фактов, пока не объясняемых ею.

Другим механизмом совершенствования математической теории является абстрагирование. Элементарная геометрия породила афинную и проективную геометрию и, наконец, топологию, которые представляют собой не что иное, как разработку специфических аспектов евклидовой (метрической) геометрии. Аналогичным образом в алгебре возникла теория групп и теория обобщенных алгебр. Характеристика современной математики как математики абстрактных структур является совершенно обоснованной. С методологической точки зрения стремление к созданию все более и более абстрактных структур является оправданным. Опыт показывает, что многие результаты в математике никогда не были бы получены, если бы не были использованы более абстрактные теории. Известно, что многие утверждения теории чисел доказываются только в рамках теории групп. Дело, по-видимому, в том, что переход к абстрактным структурам очищает задачу от условий, не существенных для ее решения, и тем самым облегчает ее решение.

Наиболее мощным механизмом развития математического знания является метод интерпретаций, который состоит в наложении одних математических структур на другие, т. е. в переформулировке задач одной теории в терминах другой. Открытие возможности новой интерпретации оказывает, как правило, освежающее воздействие на теорию и открывает новые направления в ее разработке. В качестве примера здесь можно указать на построение Декартом аналитической геометрии. Новая геометрия была получена из старой переводом всех ее утверждений на язык арифметики и алгебры. Роль, которую сыграла аналитическая геометрия в развитии современной математики, огромна. Алгебраическая интерпретация соотношений геометрии сразу же указала на многие возможности ее обобщения, в частности на возможность рассмотрения пространства многих измерений. Идея многомерных геометрий вряд ли могла бы возникнуть в рамках обычной геометрии, без формального определения размерности пространства, к которому естественно приводит аналитическая геометрия.

Метод интерпретации в современной математике сливается с аксиоматическим методом, т. к. для полного обоснования корректности интерпретации мы нуждаемся в сравнении теорий по их аксиоматической базе. Если мы обнаруживаем тождество аксиоматик содержательно различных теорий, то нам не нужно доказывать теоремы отдельно для каждой теории: мы можем заключить об истинности любой теоремы, аналог которой доказан в какой-либо из этих теорий[4]. Методологически это очень важное положение, ибо известно, что теоремы, лежащие, так сказать, на поверхности в одной теории, часто оказываются трудно доказуемыми в другой, несмотря на их формальное структурное тождество.

Таким образом, развитие математики идет по схемам, существенно отличным от тех схем, по которым развиваются эмпирические науки. Диалектика теории и факта, обычная для эмпирического знания, заменяется здесь механизмами устранения эвристических контрпримеров, которые не находятся в прямом логическом противостоянии с принципами теории. Безудержное стремление математиков к обобщениям и предельным абстракциям кажется необъяснимым, ибо чаще всего оно не вызывается никакими внутренними противоречиями и никакой практической задачей. В действительности, это не так. Очевидно, что в конечном итоге это продиктовано стремлением расширить оперативные возможности математических теорий и предвосхитить будущие запросы практики.

---

[4] О роли аксиоматического метода см.: *Бурбаки Н.* Архитектура математики // Бурбаки Н. Очерки по истории математики. М., 1963.

Развитие математики и концепция научно-исследовательских программ

Выше мы уже рассмотрели тезис Лакатоса, состоящий в том, что любое содержательное доказательство несовершенно и имеет риск быть опровергнутым, поскольку оно не может быть зашищено от скрытых лемм, нуждающихся в уточнении. Другая его идея состоит в том, что математика представляет собой особого рода квазиэмпирическое знание, подчиненное в своем развитии общей логике развития эмпирических наук.

Концепция научно-исследовательских программ И. Лакатоса — это общая теория развития знания, претендующая на то, чтобы быть приемлемой для всех наук, включая математику. Лакатос был убежден, что философия математики должна иметь свой фундамент в общей концепции развития научного знания. Анализ, однако, показывает, что такая установка, будучи полезной в определенных отношениях, является в целом принципиально ограниченной. Она не учитывает существенных особенностей математического знания, радикально отличающих математику от других наук и существенно определяющих специфику его развития и обоснования.

Согласно Лакатосу, функционирование и эволюцию научной теории можно понять, если представить ее в виде «жесткого ядра» принципов, окруженного защитным поясом вспомогательных гипотез. Разделение утверждений теории на жесткое ядро и защитный пояс не определяется однозначно их логической структурой или содержанием, а является в значительной мере результатом конвенции. Этим положением Лакатос отделяет свое воззрение на основные принципы научной теории как от индуктивизма, так и от попперовского фальсификационизма.

Общая стратегия исследования в рамках теории определяется, по Лакатосу, положительной эвристикой, а именно стремлением распространить теорию на возможно более широкую сферу явлений. Так, от механики материальной точки посредством введения дополнительных конкретизирующих требований мы переходим к механике твердого тела, к гидромеханике и статистической механике, образуя, таким образом, серию теорий, имеющих одно и то же жесткое ядро (принципы ньютоновой механики), но отличающихся защитным поясом, прежде всего системой допущений, определяющих исходные объекты этих теорий. Эта серия генетически зависимых усложняющихся теорий и образует собственно исследовательскую программу, которая, согласно Лакатосу, имеет источник развития уже в самой себе, в возможности чисто внутреннего, логического развертывания.

Развитие исследовательской программы, ее приспособление к новым сферам явлений происходит в основном за счет изменений в ее защитном поясе. Здесь проявляется другая фундаментальная установка исследователя, которую Лакатос называет отрицательной эвристикой, а именно стремление сохранить ядро теории, систему исходных принципов, устраняя аномалии и несоответствия внутри ее за счет положений защитного пояса.

Важное значение в концепции Лакатоса имеют также понятия «прогрессивного» и «регрессивного» сдвига проблем. Речь идет здесь о характере усовершенствований в защитном поясе, которые могут быть предложены в затруднительной ситуации, т. е. тогда, когда теория встречается с фактами, не поддающимися объяснению. Нововведение в теории является, по Лакатосу, прогрессивным (обеспечивающим «прогрессивный сдвиг проблемы»), если оно позволяет не только выйти из данной затруднительной ситуации, т. е. объяснить некоторый факт, но и увеличить при этом эмпирическое содержание теории в целом — предсказать другие проверяемые факты или объяснить ранее необъясненные явления. Так, идея Коперника о вращении планет вокруг Солнца не только объясняла известные аномалии в движении планет, например, петлеобразное движение Марса, но и предсказывала феномен годового параллакса, который действительно был зафиксирован, как только астрономические инструменты достигли необходимой точности. Усовершенствования в теории являются регрессивными, если они дают эффект по отношению лишь к исходному факту, не увеличивая эмпирического содержания теории в целом. Мы имеем здесь дело с так называемыми допущениями ad hoc, систематическое использование которых в теории говорит о начале регрессивной стадии ее развития, об истощении исследовательской программы в целом и служит сигналом для поиска альтернатив наиболее фундаментальным ее предпосылкам.

Увеличение эмпирического содержания теории действительно выражает объективное направление развития научно-исследовательской программы в целом, а также и рациональный (объективно фиксируемый) критерий замены конкретных теоретических представлений другими. Любая теория, согласно Лакатосу, может и должна быть заменена «только лучшей теорией, т. е. такой теорией, которая обладает бо́льшим эмпирическим содержанием»[5].

Эту схему развития науки Лакатос считает универсальной, т. е приложимой не только к эмпирическим теориям, но и к математике. Очевидные различия между эмпирическим и математическим знанием он истолковывает лишь как различия между эмпирическими и квазиэмпирическими теориями. Согласно Лакатосу, исторически существовали и продолжают существовать два идеала теории. Соответственно первому из них теория начинается с установления истинности исходных положений, аксиом. И их истинность однозначно определяет истинность всех остальных ее утверждений, получаемых посредством дедуктивного вывода. Этот тип теории он называет *евклидовским*, ибо убеждение в истинности теорем евклидовой геометрии исторически основывалось на том, что они строго следуют из аксиом, истинность которых не подлежит сомнению. Воззрения современных математиков, считает Лакатос, несколько отличны от чисто евклидовского идеала. Их можно назвать *квазиевклидовскими*, т. к. современные математики не связывают с аксиомами

---

[5] *Lakatos I.* Mathematics, Science and Epistemology // Philosophical papers. Cambridge, 1978. P. 221.

понятие истины, хотя и придерживаются мнения, что приемлемость теорем целиком определена приемлемостью некоторой системы исходных принципов.

История науки, с точки зрения Лакатоса, решительно отвергает как евклидовский, так и квазиевклидовский взгляд на природу научной теории. Живая наука начинается не с основания, не с принципов, а с конкретных, непосредственно проверяемых утверждений. Истина (там, где это понятие вообще применимо) входит в теорию не через аксиомы, но именно через конкретные базисные («фактические») утверждения. Не истинность аксиом (и вообще исходных принципов) определяет истинность следствий, а напротив, исходные принципы, основания теории оправданны, приемлемы лишь постольку, поскольку они удовлетворяют в качестве логического основания для некоторого множества истинных утверждений о фактах. В этом состоит, по Лакатосу, эмпирический идеал научной теории и эмпирический взгляд на обоснование научной теории. Основная ошибка многих философов и математиков состоит, по Лакатосу, в том, что они продолжают думать о математической теории как об евклидовской, в то время как она в действительности есть одна из разновидностей квазиэмпирического знания. Математика не является эмпирическим знанием в прямом смысле этого слова, т. к. ее базисные фактические положения (фальсификаторы) не являются утверждениями о событиях в пространстве и времени. В основе математики лежат не события и факты в их эмпирическом значении, но «квазифакты», а именно система элементарных утверждений типа «$2 + 2 = 4$», «две прямые пересекаются в одной точке» и т. д., от которых мы не можем отказаться по соображениям логического и теоретического порядка. Несмотря на это различие в природе «фактов», математика в своем историческом развитии, по мнению Лакатоса, полностью подчинена эмпирической схеме: она начинается с некоторой системы фактов (квазифактов) и поднимается к основаниям и к перестройке этих оснований в целях их улучшения. Основные моменты ее развития те же самые, что и у эмпирической теории: выдвижение смелых догадок, строгая их критика и опровержение на основе фактов[6].

Разумеется, доля истины в таком понимании развития математики, конечно, есть. Несомненно, что на некотором абстрактном уровне общая логика развития математической теории совпадает с логикой развития эмпирического знания. Это обстоятельство может быть проиллюстрировано, в частности, на истории развития отдельных математических теорий. Так, история развития числовых систем может быть понята как реализация исследовательской программы, в основе которой лежит арифметика натуральных чисел. Числовые множества исторически как бы наслаивались друг на друга, и этот процесс обогащения новыми обобщениями побуждался определенного рода «фактами», а именно конкретными задачами, которые периодически возникали в арифметике и не находили решения в ее традиционном аппарате. В арифметике натуральных чисел, если $a - b = c > 0$, выражение $b - a$ не имеет смысла, т. к. операция отрицания является здесь асимметричной. Однако уже Диофант (III в. н. э.) встретился с арифметическими задачами, которые разрешались только через использование разностей $b - a$, где $b < a$, как осмысленных. Задача, поставленная в рамках арифметики натуральных чисел, привела к необходимости расширить ее понятийную систему, ввести принципиально новые объекты и сделать операцию отрицания симметричной. Подобным же образом были введены рациональные и комплексные числа. Развитие арифметики от натуральных чисел и простых дробей до комплексных чисел и неклассических арифметик в XX в. может быть представлено как постоянное развитие и обогащение фундаментальной системы абстракций, лежащих в основе арифметики натуральных чисел. Это развитие побуждается определенного рода фактами, а именно задачами, которые формулируются в рамках арифметики натуральных чисел и становятся актуальными благодаря своей теоретической и практической значимости. Ту же картину мы видим в раз-

[6] См.: *Lakatos I.* Mathematics, Science and Epistemology. P. 30—31.

витии геометрии и идей, лежащих в основе математического анализа.

В противовес традиционному рационализму и априоризму Лакатос подчеркнул важность факта в математике, его первичность в логике развития математических теорий. Идея первичности факта по отношению к содержанию теории, содержания по отношению к его обоснованию, идея незавершенности всякого обоснования составляет одну из общих посылок концепции научно-исследовательских программ и центральный пункт философии математики Лакатоса. Такого рода «эмпирическая» трактовка развития математики является более современной в том смысле, что она подчеркивает историчность и открытость математической науки, нацеливает на расмотрение ее принципов как постоянно расширяющихся и обновляющихся во взаимодействии с некоторой реальностью, а не как неподвижных, предзаданных чистой логикой или сферой априорных форм мышления. В рамках своей установки он заново и оригинально осмыслил такие центральные для философии математики понятия, как «доказательство», «математическая строгость», «обоснование математики». Ценность его критического анализа оснований математики и закономерностей ее развития не подлежит сомнению. Но его претензия на полное отождествление логики развития математики и физики и на рассмотрение математики в рамках общей схемы развития научной теории все-таки в целом некорректна. Концепция исследовательских программ Лакатоса в применении к математике имеет явно ограниченный характер.

Эта ограниченность обнаруживается в нескольких моментах. Во-первых, достаточно очевидно, что математическая теория в отличие от эмпирической является более «жесткой». Защитный пояс эмпирической исследовательской программы, как известно, создается за счет частных утверждений, которые могут изменяться в широком диапазоне, не затрагивая основных ее положений, поскольку ядро программы и ее защитный пояс не находятся в отношении выводимости. Мы можем, к примеру, изменять константы в частных уравнениях термодинамики, прибавлять дополнительные члены к ним и менять их форму, не затрагивая исходных принципов (начал). В физической теории общие принципы не определяются однозначным образом системой конкретных положений, но задают лишь рамки их допустимых вариаций. В математической же теории, если она оформилась как дедуктивная система, при изменении одного из ее частных следствий мы должны отказаться по крайней мере от одной из ее аксиом. Лакатос не замечает этой фундаментальной особенности математических теорий при их рассмотрении в рамках концепции научно-исследовательских программ.

Во-вторых, новая теория в математике, вырастая на основе старой как ее обобщение или видоизменение, не отбрасывает старую как ложную, как это может случиться в процессе развития эмпирической теории, равно как и не низводит ее на уровень приближенной. Это различие проистекает из особого места математической теории в системе знания, из того факта, что она выполняет по отношению к содержательному знанию роль особого рода языка или знаковой модели. Новая математическая теория в функциональном плане появляется просто как более широкая модель, не устраняющая непосредственно ценности старой модели, ее полной адекватности применительно к определенным областям знания. Вследствие этого в математике сохраняется если не все, то почти все из того, что было когда-либо включено в строгую систему рассуждений, в отличие от содержательного эмпирического знания, где многие концепции отбрасываются как совершенно несостоятельные, несмотря на их внутреннюю логическую согласованность. Лакатосовская критика «кумулятивистских предрассудков» в математике малоубедительна. Лакатос пытается здесь опровергнуть то, что убедительно демонстрируется всей историей математики и имеет под собой объективную основу, связанную с природой математического знания.

В-третьих, Лакатос упускает из виду, что новая математическая теория в отличие от эмпирической может появиться свободно по чисто логическим соображениям, т. е. вне критерия эмпирической содержательности, обязательного для принятия эмпирической теории. Исследование чистых логических возможностей — обычный и наиболее эффективный путь совершенствования современной математики. Понятие дополнительного эмпирического содержания — центральное для понимания преемственности теоретических построений в естествознании — в сфере математики, очевидно, теряет свое значение, по крайней мере в качестве непосредственного критерия выбора.

Однако наиболее серьезный дефект концепции Лакатоса, ее наибольшее отклонение от реальной логики развития математического знания, состоит, как представляется, в самой трактовке содержательной математической теории как теории квазиэмпирической, как всецело обусловленной в своей исторической эволюции накоплением фактов, которые, как и в обычной эмпирической теории в конце концов могут привести к необходимости уточнения или устранения ее принципов на любой стадии ее развития. Даже для физической теории это не всегда верно, ибо такие теории, как классическая механика, не могут быть поколеблены какими-либо новыми фактами. Во всякой точной теории мы имеем явление стабилизации принципов. И это тем более верно для математических теорий, которые неизбежно достигают полной стабилизации и полного соответствия между фактами и принципами. Концепция совершенствования теории на основе логических контрпримеров не имеет существенного отношения к развитию математического знания.

Сказанного вполне достаточно, чтобы заключить, что лакатосовская концепция развития математического знания, основанная фактически на аналогиях между математикой и опытными науками, не отражает специфики математики и логики ее развития. Концепция научно-исследовательских программ схватывает в развитии математики только один, правда очень важный, момент, а именно то, что математика, как и другие науки, развивается в конце концов через решение определенного множества практических задач. Эта идея сама по себе важна, и она в действительности указывает на определенную ограниченность традиционного рационализма, который пытался свести все содержание математики либо к чистым логическим нормам, либо к априорным схемам чувственности. Однако специфика математики не сводится только к особенностям ее фальсификаторов, как это думал Лакатос. Эта специфика касается и критериев приемлемости, и логики преемственности, и самого отношения принципов математической теории к системе «фактов» по сравнению с эмпирическими науками. Эта специфика проистекает из места математики в системе человеческого знания, из ее особой функции в познании.

Процесс математизации знания

Логическая автономность математики от эмпирического знания не означает ее функциональной автономности от него: математика развивается не для самой себя, а для ориентации на запросы научного знания и практики. Особенности развития математического знания, как уже было сказано, могут быть в полной мере поняты только с учетом этой определяющей внешней связи. Быстрое развитие европейской математики в XVII—XIX вв., очевидно, было продиктовано развитием техники, промышленности и теоретического естествознания. Возникновение и дальнейшее развитие математического анализа было самым тесным образом обусловлено проблемами механики и астрономии. Расширяющееся приложение математики к нематематическим наукам составляет суть процесса, который мы называем математизацией знания. Математизация эмпирических наук — это основная и сущностная тенденция развития математики, из которой мы должны исходить при описании всех ее внутренних процессов и закономерностей ее развития.

Общая схема математизации знания предельно проста и сводится в конечном итоге к интерпретации математической теории через понятия теории эмпирической или, если идти со стороны содержания, к подысканию математических понятий и соотношений, отражающих определенные аспекты реальности, зафиксированные в эмпирической теории. Классическим примером эффективной математизации является применение математики к проблемам механики, которое сделалось обычным после Галилея и Ньютона. Это применение было основано на соответствии между математическими и физическими понятиями. Было замечено, что если дано выражение, определяющее зависимость пройденного пути от времени, то производная функция от этого выражения дает выражение для скорости движения, а вторая производная соответствует понятию ускорения. Это замечательное соответствие математических и физических понятий позволило записать законы механики в виде математических функций и установить между этими функциями четкие, чисто математические связи. Проблемы механики были переведены, таким образом, в чисто математическую плоскость. Ранее точно таким же образом проблемы геометрии были преобразованы Декартом в проблемы алгебры, благодаря установлению соответствия между геометрическими и алгебраическими понятиями. В процессе математизации математическая теория интерпретируется не в понятиях другой математической теории, а в понятиях какой-либо эмпирической теории.

Важно заметить, что процесс математизации обусловлен одновременно как развитием математики, так и зрелостью содержательной науки. Полная математизация механики не состоялась бы, если бы не была разработана в достаточной мере теория дифференциального и интегрального исчисления. Но, с другой стороны, она не состоялась бы и без ясного определения таких понятий, как масса, ускорение, количество движения и т. д. Математика применяется к тем областям знания, которые достигли достаточно высокой степени структуризации своего объекта. Практика показывает, что науки не сразу достаточно хорошо подготовлены к структуризации своего предмета, обеспечивающей использование математического метода.

Пример механики позволяет нам определить понятие классической или полной математизации. Мы будем называть математизацию содержательной теории полной, если:

1. Все ее основные понятия и принципы поддаются выражению в понятиях математической теории.

2. Величины, используемые в теории, допускают адекватную меру.

3. Математическая теория позволяет осуществить достаточно точные предсказания следствий этой теории.

Полная математизация имеет место в таких физических теориях, как классическая механика, термодинамика, электродинамика, квантовая механика, теория поля и др.

Для математизации научной теории принципиально важным является допустимый в этой теории способ измерения величин. Мы должны прежде всего различать адекватные и неадекватные меры. Меру величины можно назвать адекватной, если мы убеждены, что бóльшей величине соответствует бóльшая мера, равным величинам соответствуют равные меры и при увеличении величины в некоторое число раз ее мера увеличивается в то же самое число раз. Адекватная мера предполагает наличие единиц измерения, зафиксированных в виде некоторых устойчивых эталонов. Все физические величины обладают в этом смысле адекватной мерой, поскольку они выражаются в конечном итоге через меры длины, массы и времени, которые фиксируются с полной определенностью на основе своих эталонов. Основной недостаток теорий за пределами физики состоит в том, что здесь часто отсутствуют адекватные меры, и мы должны прибегать, как правило, к условным мерам, которые мало пригодны для точного выражения функциональных связей. Мы не имеем адекватной меры, к примеру, для уровня образовнности общества и должны пользоваться для выражения ее такими условными характеристиками, как среднее число лет, которое затрачивается в данной стране на обучение ребенка, уровень финансирования системы образования и т. д. Конечно, мы имеем возможность отличить развитую экономику от менее развитой, но не существует единого показателя или системы показателей, позволяющих дать точное количественное выражение качества экономической системы. Условность измерения ведет к условности устанавливаемых функциональных связей и к невозможности точных предсказаний.

Существенное отличие современной математизации от классической состоит в том, что она не является полной. Она является фрагментарной в том смысле, что математическому моделированию поддаются лишь некоторые частные процессы, исследуемые теорией, но не теория в целом во всей системе ее принципов. Одним из первых примеров такой частичной математизации является математическая модель сосуществования хищников и жертв в биоценозе, предложенная В. Вольтерра (1921). Интуитивно ясно, что увеличение числа зайцев в лесу как потенциальных жертв ведет к увеличению числа волков, как особей, потребляющих зайцев в пищу, и что слишком бурное размножение волков должно привести к уменьшению числа зайцев и, в конце концов, к уменьшению числа волков. Намечается, таким образом, некоторое взаимодействие двух линий развития во времени. Эта ситуация может быть записана в следующих уравнениях:

$$\frac{dN}{dt} = rN - aCN,$$

$$\frac{dC}{dt} = kaCN - gC,$$

где N — число жертв, C — число хищников, a, r, k, g — коэффициенты, характеризующие взаимодействие хищников и жертв, устанавливаемые на основе опыта. Эти уравнения в своей исходной форме являются предельно абстрактными и имеющими очень приближенное отношение к реальности, но они допускают уточнение и в принципе могут служить для предсказания тенденций увеличения или уменьшения основных видов в биоценозе[7]. Известно, например, что математическое моделирование процессов в биоценозе дает неплохие результаты в прогнозах вылова различных пород рыбы по сезонам в замкнутых водных бассейнах.

Этот пример показывает особенности фрагментарной математизации. Такая математизация не захватывает принципов науки в целом, она относится исключительно к некоторым выделенным, изолированным фрагментам. Важно также то, что такого рода математизация не опирается на адекватные меры и не обеспечивает точного предсказания. Математизация знания за пределами физики является фрагментарной и неточной вследствие отсутствия адекватно измеряемых величин. Имеются серьезные доводы, показывающие, что математизация за пределами физики не имеет шансов стать полной и адекватной математизацией в определенном выше смысле. Опыт науки последних десятилетий показывает, однако, что, несмотря на указанные недостатки фрагментарной математизации, она завоевывает все новые и новые области, демонстрируя, таким образом, свою эффективность.

В философском плане основная проблема математизации состоит в прояснении ее онтологической основы, ее обусловленности сложностью предмета науки. История науки ясно показывает, что математической обработке поддаются только те теории, в которых могут быть выявлены модели, пригодные для количественной обработки и для определения в точных понятиях. Математизация научного знания зависит, таким образом, в первую очередь от внутренних особенностей самого этого знания, от его способности к внутренней определенности, от наличия в нем определенных, устойчивых и достаточно содержательных схем. Научные теории сильно различаются по своей способности к строгому определению понятий и в разной степени способны к представлению своих законов в математических понятиях. Проблема состоит в уяснении усло-

[7] Детальный анализ этих уравнений см.: *Тутубалин В.Н., Барабашева Ю.М., Григорян А.А., Девяткова Г.Н., Угер Е.Г.* Математическое моделирование в экологии. Историко-методологический анализ. М., 1999.

вий, определяющих саму возможность математизации знания, в определении требований, позволяющих понять возможную сферу эффективности математического метода. В настоящее время мы не имеем здесь сколько-нибудь ясных представлений, и можно сказать, что наша теория математизации знания ограничивается пока лишь анализом его истории и сравнением типов задач и типов математического аппарата.

Современная математизация знания в методологическом плане представляет собой противоречивое явление. С одной стороны, мы ясно видим то обстоятельство, что усложнение объекта исследования, которое происходит при переходе от физики к билогии и к гуманитарным наукам, создает почти непреодолимые затруднения для математического представления теории, а с другой стороны, мы видим, что спрос на математику со стороны науки, в том числе и наук за пределами физики, постоянно растет. Вопрос о перспективах математизации знания, таким образом, остается открытым. Для понимания этих перспектив необходимо иметь более определенные знания об условиях применения математики к таким объектам, как объекты биологии, психологии и социальной науки. Методологической теории, отвечающей на эти вопросы, мы пока не имеем.

Математическое предвосхищение и математическая гипотеза

Математическая теория вследствие чисто формальной и конструктивной природы своих понятий обладает существенной автономностью в своем развитии по отношению к содержательному знанию. На базе имеющихся математических образов и операций из чисто формальных соображений могут быть построены другие объекты и операции, не связанные с интуитивной основой исходных объектов и с какой-либо интуитивной основой вообще. Аналитическое выражение отношений трехмерного евклидова пространства естественно привело к идее многомерного пространства, законы которого понятны лишь формально, по аналогии с трехмерным случаем. Такого рода абстрактные объекты математики непосредственно вводятся с целью унификации математического знания; они исследуются постольку, поскольку позволяют объединить разнородные математические теории, выработать общий взгляд на проблемы, упростить внутреннюю структуру математического знания. Практика, однако, показывает, что эти образы не остаются навсегда в своей внутриматематической роли, а, как правило, находят некоторую эмпирическую интерпретацию, т. е. постепенно переходят и в сферу образов, имеющих прикладное значение. Поскольку такие интерпретации для абстрактных объектов математики обнаруживаются обычно в связи с новыми достижениями теоретического естествознания, с открытием новых сфер научных представлений, то можно сказать, что математика в своем внутреннем развитии обладает способностью предвосхищать представления теоретического естествознания в плане их общей структуры.

Такого рода предвосхищение построений абстрактной математики будущих потребностей в математическом аппарате со стороны физики и других наук привлекло к себе внимание ученых в начале XX в. в связи с применением неевклидовых геометрий в теории относительности. На эту особенность взаимодействия математики и физики указывал Ф. Клейн в работе, посвященной применению проективных метрик в теории относительности[8]. А. Эйнштейн в статье о И. Кеплере высказывал восхищение загадочной гармонией, существующей между природой и мышлением, благодаря которой геометрические фигуры, придуманные древними, а именно эллипс и гипербола, нашли в новое время реализацию в орбитах небесных тел[9]. «В совсем недавнее время, — пишет Ж. Дьедонне, — мы были свидетелями неоднократно повторявшейся ситуации, непостижимой для физиков и философов, когда с удивлением

[8] См.: *Клейн Ф.* О геометрических основаниях лорентцовой группы // Новые идеи в математике. Вып. 5. СПб., 1914.

[9] См.: *Эйнштейн А.* Физика и реальность М., 1965. С. 109.

замечают, что математический аппарат, необходимый для развития появившихся революционных концепций, таких как теория относительности и квантовая механика, уже задолго до их рождения был создан и развит в связи с внутренними проблемами математики, вне каких-либо подозрений, что этот аппарат может когда-либо получить другое приложение»[10].

Абстрактная (неинтерпретированная) математика, как уже говорилось, развивается не произвольно, но в интенции на определенные внутренние задачи математики и на совершенствование ее логической структуры в целом. Гносеологическая проблема состоит в том, чтобы объяснить, почему, стремясь к решению сугубо внутренних задач и совершенствуясь в этом направлении, абстрактная математика вырабатывает структуры, перспективные для внешней (эмпирической) интерпретации.

Существуют различные подходы к пониманию этого явления. Прежде всего нужно указать на попытки натурфилософского объяснения, исходным пунктом которого является утверждение некой изначальной гармонии природы и человеческого мыслительного аппарата как части природы. В 50-х гг. прошлого века эту идею развивал французский инженер и философ А. Ламуш. Согласно Ламушу, три основные сферы реальности — неживая природа, жизнь и мышление — подчинены единому ритму, который в своей основе определен принципом экономии энергии. Во всех этих сферах действует аналогичный механизм появления нового, а именно конструирование его из существующих элементов в соответствии с правилами композиции и подобия. Свободное конструирование математика с этой точки зрения, поскольку оно неизбежно имитирует способы конструирования природы, с высокой вероятностью остается в пределах форм, реализуемых природой[11].

---

[10] *Дьедонне Ж.* О прогрессе математики // Историко-математические исследования. Вып. XXI. М., 1976. С. 20.

[11] См.: *Lamouche A.* L´Homme dans l´harmonie universelle. Paris, 1958. Ch. 2.

Существует другое объяснение, которое можно назвать логико-генетическим. Основная его идея состоит в том, что каждый абстрактный образ математики логически производен от некоторого более конкретного, содержательно интерпретируемого образа. Но если это так, то он сохраняет в себе часть содержания исходного образа и благодаря этому сам получает в конечном итоге содержательную интерпретацию на более высоком уровне физических абстракций. Конкретизируя эту идею, А. Григорян вводит понятие структурирования. Абстрактные образы математики, по его мнению, есть не что иное, как структурирование (концептуально развернутое представление) некоторого аспекта конкретного образа, и вследствие этого они с самого начала являются потенциально связанными со сферой определенных эмпирических связей[12].

Такого рода объяснение, несомненно, содержит долю истины, но в целом оно не может быть принято как достаточное. Во-первых, абстрактная (неинтерпретированная) математика состоит не только из обобщений и абстракций (в этих случаях действительно можно говорить о сохранении определенных аспектов содержания), но в значительной мере из логических альтернатив конкретному образу, т. е. из образов-конструкций, которые уже по своей логической структуре заведомо отрицают естественную интерпретацию исходного образа. Во-вторых, даже в тех случаях, когда некоторая содержательная наследственность имеет место, она, как показывает опыт, далеко не определяет сферы приложения абстрактного образа. Многозначные логики, будучи с формальной точки зрения обобщением обычной двузначной логики, находят свое наиболее продуктивное использование не в анализе языковых форм, а в технике. Такого рода примеры, число которых очень велико, заставляют признать, что идея генетического родства не способна адекватно объяснить явление повсеместной реализации форм абстрактной математики.

---

[12] См.: *Григорян А.А.* Гносеологические основания эффективности математики: Диссертация на соискание ученой степени кандидата философских наук. М., 1985. С. 121—122.

Визгин В.П. считает, что тенденцию к «офизичению» абстрактных образов можно вполне объяснить историко-научным анализом каждого отдельного случая. По его мнению, становление сколь угодно абстрактной математической теории скрытым образом опосредовано некоторыми физическими соображениями, и последующее использование этой теории в физике представляет собой не что иное, как «возвращение долга» физике со стороны математики. Мистические стороны эффективности абстрактной математики, по мнению Визгина, немедленно исчезают при историческом анализе, который может выявить физические интуиции, определявшие становление данной математической концепции[13].

Учет физического опосредования математических идей в их становлении, конечно, существен для понимания их эффективности. С полным правом можно утверждать, что теория групп, используемая в современной физике, далеко не та абстрактная теория, которая возникла в алгебре в связи с проблемой разрешимости уравнений в радикалах. Она обогащена и конкретизирована во взаимодействии с геометрическими и физическими идеями XIX в. В некотором смысле верно, что мы излишне драматизируем и мистифицируем проблему отношения математики к физике, оставляя в тени явное и неявное влияние физических идей на становление математики, в том числе в самых абстрактных ее представлениях.

Однако историко-научный анализ также не приближает нас существенно к решению проблемы. Для подавляющего числа абстрактных математических концепций он вообще не может дать каких-либо результатов, т. к. их становление было всецело детерминировано внутренними задачами математики. Введение в математику комплексных чисел в XVI в., конечно, не имело под собой каких-либо механических или геометрических интуиций. И даже в тех случаях, где физические интуиции играли роль, их раскрытие в действительности мало что

[13] См.: *Визгин В.П.* Проблемы взаимосвязи математики и физики. Историко-математические исследования. Вып. XX. М., 1975. С. 35.

объясняет. Абстрактные структуры математики обладают способностью к содержательно различным воплощениям, что никоим образом не может быть объяснено из особенностей их генезиса. В историко-научном анализе мы имеем дело, по существу, с той же идеей генетического обоснования эффективности математики, о которой уже шла речь.

В.П. Визгин, безусловно, прав в том, что тайна непостижимой эффективности математики может быть раскрыта только через анализ исторического взаимодействия математики и физики, «игры между мышлением и опытом». Основной вопрос, однако, состоит в том, в каких моментах должна быть раскрыта эта идея, какие понятия должны быть введены для того, чтобы неясные для нас аспекты эффективности математики получили объяснение в соответствии со строгим смыслом этого понятия.

Представляется, что адекватное обоснование эффективности математики может быть только системным. Оно должно исходить из понимания математики как некоторого рода самоорганизующейся системы, исторически приспособляющейся к содержательному знанию, как к системе более фундаментальной. Такое объяснение должно быть обоснованием общей тенденции абстрактных образов к интерпретации, независимой от условий их формирования.

Когда речь идет о «непостижимой эффективности математики», то имеются в виду явления трех типов, которые существенно отличаются друг от друга.

1. Поразительная способность математических образов, генетически связанных с конкретным содержанием, получать иные интерпретации, служить для выражения другого содержания.

2. Необъяснимая тенденция абстрактных математических образов, не связанных генетически с какой-либо содержательной системой представлений, получать интерпретацию, превращаться в описание некоторых теоретических моделей (математическое предвосхищение).

3. «Непостижимая» экстраполябельность физических законов, выраженных в математической форме (законы Ньютона, уравнения Максвелла и т. п.).

Рассмотрим сначала явления первого типа.

Е. Вигнер в статье «Непостижимая эффективность математики в естественных науках» приводит разговор двух приятелей. Один из них, будучи специалистом по статистике, использует число π в расчетах роста народонаселения, другой задает ему «наивный» вопрос: «Какое отношение имеет численность народонаселения к длине окружности?» Действительно, это совершенно различные области, и математик древности, вычисляя отношение длины окружности к диаметру, не мог, конечно, подозревать такого столь широкого применения константы π, которое имеет место в современной науке. Количество таких вопросов можно увеличивать до бесконечности. Почему алгебра Буля, созданная для систематизации форм логического мышления, нашла приложение в электротехнике, почему афинная геометрия может быть интерпретирована как пространство цветов и стать математической основой цветоведения, почему одни и те же дифференциальные уравнения могут быть использованы для исследования как колебаний струны, так и для описания взаимодействия видов в биоценозах?

Здесь важно понять прежде всего то обстоятельство, что полифункциональность некоторого образа или объекта, созданного первоначально для определенных целей, не является явлением специфическим для математики. Можно вообще спросить, почему наш обычный язык оказывается применимым для описания доселе ненаблюдаемых явлений или почему техническую деталь, созданную для какого-либо одного типа механизмов, оказывается возможным использовать при конструировании совершенно другого типа механизмов, в другой сфере техники. Колесо первоначально было изобретено, скорее всего, как средство передвижения, и никто не мог предугадать столь универсального его использования в технике будущего. Аналогия с числом π здесь очевидна. Говоря об универсальности математических образов, об их полисемантичности или полифункциональности, мы затрагиваем, таким образом, некоторую общесистемную закономерность: во всех этих случаях элемент системы, созданный в конкретной ситуации и для определенной цели, оказывается затем (как правило) более универсальным, пригодным для других целей, предвосхищающим другие требования. Это значит, что рассматриваемое явление не специфически математическое и должно быть объяснено из особенностей функционирования искусственных систем вообще, которые создаются обществом.

Второе проявление эффективности математики, состоящее в тенденции к «офизичению» абстрактных образов, в своей основе также имеет системный характер, но оно требует для своего объяснения привлечения соображений чисто логического порядка.

Математика, как уже говорилось, имеет определенную независимость от прежних содержательных математических представлений при введении новых образов. Если в математике появляется образ М, имеющий содержательную интерпретацию, то математик может создать систему производнях образов: M_1, M_2,... M_n, заполняющих некоторую логическую окрестность М. Если исходному образу М соответствует система теоретических представлений Ф и если Ф в конечном итоге заменяется некоторой системой представлений $Ф_1$, являющейся обобщением Ф, или более абстрактной системой связей по отношению к Ф, то в соответствии с принципом интерпретации эта новая теория неизбежно потребует более общих или более абстрактных математических структур, чем М, но находящихся в логическом родстве с М (по принципу соответствия, в частности). Таким образом, уже элементарная логика связи математических и физических структур, которая характеризуется принципом соответствия и принципом интерпретации, предопределяет возможность интерпретации некоторых форм M_1, M_2,... M_n на базе отношений $Ф_1$.

Эти соображения не объясняют математического предвосхищения как необходимой тенденции лишь в том отношении, что мы не можем гарантировать полноту образов M_1, M_2,... M_n и, следовательно, не можем заведомо исключить появления как угодно длинной серии физических теорий $Ф_1$... $Ф_k$, каждая из которых потребует создания принципиально новой математической теории для своего описания. Эта последняя возможность, однако, исключается, если мы будем рассматривать математическое знание как систему представлений, стремящихся к динамической устойчивости по отношению к физике. Появление серии физических теорий, требующих каждый раз создания новых математических структур означало бы предельную неустойчивость и неэкономичность математического знания в целом. Идеальная устойчивость математики по отношению к физике, видимо, недостижима, но мы имеем все основания думать, что механизмы отбора, регулирующие свободное развитие математики, направлены на ее обеспечение и, следовательно, на принятие и разработку именно тех абстрактных форм, которые среди прочего наиболее перспективны для содержательной интерпретации в будущем.

Математическое предвосхищение представляется, таким образом, сложным явлением, обусловленным одновременно и логической связью математических и физических структур, и отношением математики к физике как определенного рода приспособляющейся вторичной системе. Последнее обстоятельство является решающим для понимания всего процесса. Само стремление математиков исследовать абстрактные образы до всякого запроса со стороны физики и даже самой математики может быть объяснено только в плане такого перспективного приспособления математики как системы, ибо формальная структура математики обеспечивает лишь принципиальную возможность такого свободного развития.

Что касается поразительной экстраполябельности математизированных физических законов, то она требует существенно иного подхода к своему обоснованию. Системная сущность знания, конечно, в определенной степени объясняет экстраполябельность научного закона. Но поднимая этот вопрос, философы и математики говорят не об экстраполябельности вообще, а о поразительно высоком качестве этой экстраполябельности. Известно, что закон всемирного тяготения выполняется с идеальной точностью для объектов, находящихся на расстоянии миллионов световых лет от Земли. Возникает вопрос: каким образом человек на основе грубого опыта способен сформулировать законы, имеющие почти абсолютную значимость. Это замечательное качество законов физики не может быть обосновано только из системных соображений; мы должны здесь, по-видимому, привлечь некоторые соображения натурфилософского порядка, а именно принять утверждение о простоте и единообразии законов природы на некотором их уровне.

Небольшой анализ показывает: натурфилософский аргумент присутствовал и во всех наших предшествующих рассуждениях. Тенденция к динамической экономичности есть необходимое явление в системе, возникающее просто из приспособительной активности общества. Но нетрудно понять, что реальный успех этой тенденции существенно зависит от разнообразия или сложности среды, в которой протекает эта активность. Мысленно усложняя среду, в которой живет общество, уменьшая устойчивость ее компонентов, мы придем к ситуации, в которой исчезнет всякая экстраполяция и всякое предвосхищение. Таким образом, ясно, что если в принципе разнообразные формы эффективности математики вытекают из идеи системного, динамического характера, то мера этой эффективности, количественная степень соответствующих тенденций прямо зависит от качества среды и, следовательно, такого рода явления не могут быть объяснены без определенного рода натурфилософсктх допущений о свойствах самой объективной действительности.

Это обстоятельство, хотя оно и не всегда хорошо осознается, лежит, на наш взгляд, в основе заявлений о «мистическом» или «непостижимом» характере эффективности математики. Вывод от факта эффективности математики в физике к простоте той реальности, которую изучает физика, представляется вполне естественным. Эффективность математики, по крайней мере в третьем ее смысле, должна быть принята в таком случае в качестве простого эмпирического факта, не подлежащего теоретическому обоснованию.

В связи с анализом явления математического предвосхищения мы должны отметить также связанный с ним прием, который в методологической литературе получил название математической гипотезы. Математическая гипотеза — это методологический прием, основанный на том, что чисто формальные, иногда даже непреднамеренные изменения математических уравнений, описывающих определенные стороны реальности, приводят к закономерностям, описывающим другие стороны реальности или существенно расширяющим поле использования первоначальныой теории[14]. Впечатляющим примером такой формальной вариации является уравнение Шредингера, полученное в результате модификации классического волнового уравнения. Этот путь привел в конечном итоге к прояснению принципов квантовой механики и широкого поля ее приложений. Особенностью этого пути является то, что математический аппарат теории появляется раньше его адекватной содержательной интерпретации. Некоторые исследователи методологии науки видят в этом новую форму взаимодействия между математикой и научной теорией, появившуюся в XX в., которая характеризуется тем, что математика начинает играть ведущую и решающую роль в становлении физической (содержательной) теории.

Математическая гипотеза родственна математическому предвосхищению, т. к. в том и другом случае речь идет об активной и опережающей роли математики в развитии содержательной теории. Но тут есть и существенное различие: говоря о математическом предвосхищении мы фиксируем некоторого рода исторически реализующуюся тенденцию, способность математики готовить форму для новых физических теорий, в то время как в случае с математической гипотезой мы говорим о сознательном использовании этой особенности развития математики, т. е. о методологическом приеме, основанном на этом свойстве математической теории. Можно сказать, что математическая гипотеза является методологической реализацией, предвосхищающей способности математического мышления.

---

[14] См.: *Кузнецов И. В.* Математическая гипотеза // Философская энциклопедия. Т. 3.

Мы указали здесь на основные явления, связанные с особенностями развития математического знания. Ясное понимание этих особенностей важно для понимания природы математического мышления, а также и для реальной методологии науки. Реальная методология математического мышления может быть обоснована только на базе понимания объективных закономерностей развития математической теории.

Глава 3

ПРОБЛЕМЫ ОБОСНОВАНИЯ МАТЕМАТИКИ

Каждая эпоха развития математики характеризуется своей системой «фактов», стоящих в центре ее методологического и философского осмысления. Такими фактами могут быть отдельные положения (например, теорема о несоизмеримости диагонали квадрата с его стороной), отдельные образы (например, мнимые числа, бесконечные множества), новые математические теории (например, неевклидовы геометрии и теория множеств), новые явления в прикладной математике и т. п. История показывает, что на каждом конкретном этапе развития математика и философия математики вращаются вокруг какого-то определенного круга событий в математике, в какой-то мере может быть даже абсолютизируя их и преувеличивая их значимость. Для философии математики XX в. таким базисом явились трудности в основаниях математики, попытки математиков устранить противоречия из логики и теории множеств, а в общем плане — найти средства, гарантирующие надежность математических рассуждений.

Проблема обоснования математики имеет одновременно как логическое, так и философское измерение. Мы рассмотрим здесь суть философских дискуссий, относящихся к этой проблеме.

Парадоксы теории множеств

Как известно, многие математики первой половины XIX в. считали, что О. Коши на базе понятия предела достиг полного обоснования интегрального и дифференциального исчисления и тем самым разрешил кризис в основаниях математики, продолжавшийся в ней до этого около ста лет. Однако скоро обнаружилось, что это обоснование недостаточно и даже в некотором смысле противоречиво. При изложении теории пределов как базы математического анализа Коши опирался на понятие действительного числа. Вместе с тем он определял действительное число как предел последовательности рациональных чисел. Для выхода из этого логического круга необходимо было обосновать свойства действительных чисел как-то иначе, без ссылки на понятие предела.

Далее, было обнаружено, что для строгого доказательства ряда теорем внутри анализа требуется понятие множества со всеми его элементами, т. е. понятие актуальной бесконечности. Этот факт был замечен Б. Больцано при анализе им доказательства существования верхней грани ограниченного бесконечного множества. Больцано показал также, что оперирование с бесконечными множествами чревато парадоксами и требует принципиально других правил чем те, к которым мы привыкли в арифметике и алгебре конечных величин. Еще с большей очевидностью необходимость введения в математику бесконечных множеств была подтверждена исследованиями Дирихле и Римана по теории тригонометрических рядов.

Новые факты математики породили, таким образом, потребность в новых, более широких основаниях математического анализа и математики в целом. Задача состояла в том, чтобы: а) дать обоснование теории действительных чисел, независимое от понятия предела; б) строго обосновать те разделы анализа, где использовалось понятие актуальной бесконечности. Первую задачу в начале 70-х гг. XX в. разрешил Р. Дедекинд своей теорией сечений. В это же время Г. Кантор выдвинул теорию трансфинитных чисел, которая не только устанавливала законы оперирования с бесконечными множествами, но и давала полную теорию действительных чисел. Нужно сказать, что и до настоящего времени теория множеств является наиболее глубокой основой для понимания соподчинения и связи различных числовых множеств.

Восприятие теории множеств современниками было затруднено по той же причине, что и восприятие неевклидовых геометрий: бесконечности высших порядков были слишком оторваны от действительности и казались поэтому искусственными и праздными построениями. Идея Кантора о том, что математика свободна в конструировании своих объектов в рамках логической непротиворечивости, которую он выражал утверждением «сущность математики — в ее свободе», была еще чужда подавляющему числу математиков. Позиции Кантора противостоял интуиционистский взгляд на предмет и природу математики, согласно которому математика может обеспечить строгость своих выводов только в том случае, если ее исходные объекты даны нам в своих свойствах с полной ясностью и определенностью. В этом состояло основное положение Л. Кронекера — последовательного оппонента канторовской теории множеств. В дальнейшем эта критика была продолжена и развита Л. Брауэром в его концепции интуиционистского обоснования математики.

К концу XIX в. появилось однако значительное число работ, использующих теорию множеств. Пуанкаре, Гильберт, Фреге и многие другие математики оценили глубину новой теории. Математика стала быстро приобретать теоретико-множественный облик, а обоснование математики стало ориентироваться на понятия теории множеств как наиболее общие и фундаментальные. Но этот едва начавшийся триумф канторовской теории множеств был прерван в начале XX в. открытием целого ряда противоречий (парадоксов) в ее основе. К настоящему времени математиками изобретено и сформулировано значительное число различных парадоксов, непосредственно или косвенно связанных с понятием бесконечного множества. Мы приведем здесь лишь некоторые из них для уяснения принципиальной стороны дела.

Парадокс Кантора (был обнаружен самим Кантором в 1895 г.). Пусть М — множество всех множеств, а РМ — множество всех подмножеств этого множества. Согласно одной из исходных теорем теории множеств, мощность любого множества всегда меньше мощности множества всех его подмножеств, что может быть записано формулой $|PM| > |M|$. Но поскольку множество М, по определению, содержит в себе все множества, то $PM \subseteq M$, вследствие чего, согласно другой теореме теории множеств $|PM| \leqslant |M|$, что противоречит предыдущему неравенству.

Парадокс Рассела. Обозначим через М множество всех нормальных множеств, т. е. множеств, не включающих себя в качестве элемента. Зададим теперь вопрос: является ли множество всех нормальных множеств нормальным. Если допустить, что множество М — нормальное, тогда оно не включает себя в качестве своего элемента и, следовательно, оно не нормальное. Если допустить, что М — не нормальное, тогда оно включает себя в качестве своего элемента и, следовательно, оно нормальное (т. к. множество М — множество нормальных множеств!). Мы, таким образом, не можем допустить без противоречия ни нормальности, ни ненормальности множества всех нормальных множеств.

Парадокс Ришара. Пусть все определения арифметики расположены в ряд по длине, к примеру по числу букв, содержащихся в них. Если определения, содержащие одно и то же число букв, расположить в обычном алфавитном порядке, то тогда каждому определению можно будет поставить в соответствие натуральное число n — его порядковый номер. Назовем число ришаровым, если оно обладает свойством, зафиксированным в соответствующем определении. Но определение ришарова числа есть также определение арифметики и ему соответствует некоторое число m в качестве его номера. Является ли число m ришаровым? Здесь налицо противоречие, ибо число m — ришарово тогда и только тогда, когда оно не обладает свойством требуемым в определении, т. е. тогда, когда оно не ришарово.

Обнаружение парадоксов, связанных с понятием множества, поставило проблему обоснования всей математики как проблему ее непротиворечивости. В узком смысле она состояла в том, чтобы найти способ избавиться от известных парадоксов, обнаружив источник их возникновения. В более широком — необходимо было ответить на вопрос: можно ли, и в какой мере, полностью избавиться от противоречий в математике, может ли математическая теория на какой-то стадии своего развития получить окончательное обоснование? В начале XX в. противоречия в математике рассматривались как некоторого рода курьезы, как легко исправимые отклонения от логики строгого рассуждения и была сильна вера в возможность полного обоснования математики. Многие выдающиеся математики разделяли эту веру и предлагаемые ими пути устранения парадоксов они рассматривали одновременно и как программы решения проблемы обоснования математики вообще. Рассмотрим основные из этих программ.

Логицистское обоснование математики

Логицистский подход к обоснованию математики проистекает из идеи сводимости математики к логике, которая была сформулирована еще Лейбницем и получила поддержку в развитии методов математической логики в XIX в. Логицизм исходит из предположения, что все понятия математики могут быть определены на основе понятий, относящихся к логике и все теоремы математики могут быть представлены в виде общезначимых логических суждений. Замысел логицизма как программы обоснования математики состоял в том, чтобы свести вопросы, относящиеся к обоснованию надежности принципов и методов математики к вопросу о надежности простых логических исчислений.

В своей работе «Основоположения арифметики» (1884) Г. Фреге наметил путь обоснования арифметики на основе логического определения понятия числа. Редукция арифметики к логике означала для Фреге и логическое обоснование математики в целом, поскольку он был убежден, что вся математика может быть обоснована на базе арифметики. Исходной базой обоснования математики выступают у Фреге аксиомы логики, принятые на основе понятия логической (семантической) истины. Аксиомы арифметики должны быть представимы, по его замыслу, как истинные суждения в рамках логической системы. Фреге не ставит вопроса о формальном (синтаксическом) обосновании непротиворечивости арифметики. Он рассматривает непротиворечивость математической теории как естественное следствие логической истинности ее принципов.

Фреге считает совершенно несостоятельной эмпирическую концепцию числа как понятия, сформировавшегося в процессе счета. Философы, объясняющие понятие числа из опыта счета, смешивают, по его мнению, сферу приложения арифметических истин с самими этими истинами. Он отклоняет и кантовское понимание числа как объекта, данного в чистом созерцании. Созерцание, по мнению Фреге, как всякая чувственность вообще, не может вывести нас за пределы очень узкого круга истин. Он убежден, что все то, что Кант стремится обосновать через восприятие в чистом созерцании, может быть строго доказано из аналитически истинных положений логики. Фреге не соглашается также и с аксиоматическим подходом к определению числа, который был предложен Пеано и Гильбертом. Задача обоснования арифметики, считал Фреге, состоит в раскрытии *подлинного* смысла числа, как оно используется в науке и в обыденной жизни. Аксиоматика заведомо не решает этой задачи, т. к. она указывает лишь на неопределенную совокупность объектов, удовлетворяющих аксиомам[1].

За основу определения числа Фреге берет теоретико-множественное понятие эквивалентности классов, определенное, в свою очередь, на основе понятия взаимно-однозначного соответствия. Конкретное число n

[1] См.: *Frege G.* On the Foundation of Geometry // The Philosophical Review. XIX. 1960. P. 15—17.

характеризуется при таком подходе как класс эквивалентных классов, содержащих n элементов[2]. Собственно математическая задача Фреге состояла в демонстрации того, что такое определение может быть адекватно переведено на язык логики и что все интуитивно ясные отношения между числами натурального ряда могут быть воспроизведены как отношения между чисто логическими объектами и доказаны в виде логических истин.

Признано, что Фреге достиг существенного успеха в реализации своей программы. Он обосновал первичные принципы арифметики, имеющие важное значение для ее последовательного аксиоматического построения, а именно отсутствие предшествующего элемента для нуля, невозможность повторения одного и того же элемента в последовательности чисел, а также принцип индукции, который он формулирует как необходимость передачи свойства от первого элемента к последнему в наследственных рядах элементов. Исходя из определения наследственного ряда, Фреге пытался доказать также положение о бесконечности натурального ряда чисел, т. е. об отсутствии в нем последнего элемента. Постепенно, однако, было понято, что это доказательство содержит в себе круг, т. е скрытую предпосылку, равнозначную доказываемому тезису. Эта скрытая предпосылка была зафиксирована в дальнейшем в качестве особой аксиомы — аксиомы бесконечности.

Теория Фреге оказалась также не вполне удовлетворительной и в плане логической совместности утверждений. Б. Рассел обнаружил в ней возможность противоречивого рассуждения, которое известно сегодня под названием парадокса Рассела. Рассел показал, что если определить понятие нормального множества как множества, не содержащего себя в качестве своего элемента, то нельзя выяснить, является ли множество всех нормальных множеств нормальным или ненормальным: допущение его нормальности приводит к строгому выводу его ненормальности, и наоборот. Поскольку рассуждения Рассела не выходили за сферу

[2] См.: *Фреге Г.* Основоположения арифметики, параграф 81.

методов, разрешенных теорий Фреге, то эта теория была поставлена под сомнение в плане внутренней согласованности своих принципов.

Рассел продолжил исследования Фреге, поставив задачу выявить истоки парадоксов в логических исчислениях и найти средства их устранения. В исследованиях Рассела наиболее важными с современной точки зрения являются два момента, а именно изобретение теории типов, вскрывающей источник парадоксов, и прояснение того факта, что некоторые принципы, существенные для построения арифметики и теории множеств, не являются истинами логики.

Суть теории типов состоит в том, что математические высказывания делятся на типы (классы) в соответствии с областью их определения. Пусть имеется некоторая область исходных объектов а, в, с и т. д. К первому типу относятся высказывания о свойствах этих объектов: f(а), g(в) и т. д. Ко второму типу относятся высказывания о свойствах этих свойств, т. е. высказывания вида: F(f), F(g), и т. д. К третьему типу относятся высказывания о свойствах свойств свойств и т. д. Основное правило теории типов состоит в том, что каждый предикат относится только к определенному типу и может быть определен только на объектах нижележащих уровней; он не может быть применен к объектам своего или более высокого уровня. С этой точки зрения выражения вида f(а), F(g) либо истинны, либо ложны, в то время как выражения вида f(f), f(g), f(F) не истинны и не ложны, а бессмысленны. Ошибка Фреге, по мнению Рассела, состояла в том, что он допускал неограниченную область определения для любой логической функции и парадоксы в его теории появились как следствие этой ошибки.

Ограничение Рассела является эффективным в том смысле, что оно позволяет устранить все известные парадоксы логики и теории множеств. Парадокс Рассела, в частности, устраняется вследствие того, что устраняется понятие нормальности всех нормальных множеств, как имеющее логическую форму f(f).

Рассел был убежден, что исправленная таким образом логицистская программа будет достаточна для обоснования математики, в том числе и таких ее разделов, как теория множеств. В фундаментальном труде «Principia Mathematica» (1910—1913) Рассел и Уайтхед предприняли попытку обосновать на этих принципах арифметику и теорию множеств. Этот труд, с одной стороны, продемонстрировал значительные возможности логического анализа математики. С другой стороны, выявил его принципиальную ограниченность. Одним из «непреднамеренных» результатов исследования, проведенного Расселом и Уайтхедом, явилось открытие того факта, что систематическое изложение даже арифметики нуждается в утверждениях, несводимых к логике. Было установлено, что к таким положениям относятся две важные аксиомы теории множеств, а именно аксиома бесконечности и аксиома выбора.

Этот результат оказался принципиально важным для философии математики, ибо он показал ошибочность мнения Лейбница и многих его последователей, что математика не содержит в себе ничего, кроме усложненных логических определений и их связей, о том, что математика сводима к логике. Оказалось, что математика в отличие от логики заключает в себе некоторые нетавтологические предпосылки, некую информацию, которая не заключена в принципах логики. Было осознано, в частности, то обстоятельство, что введение бесконечности в формальную теорию является прерогативой математического мышления.

Сам Рассел истолковал этот факт в релятивистском духе как неустранимую гипотетичность математического мышления. Он сделал отсюда вывод, что математические теории истинны лишь в той мере, в которой истинна наша гипотеза о существовании бесконечного числа предметов во Вселенной. Поскольку никакой опыт не может дать нам ни положительного, ни отрицательного ответа на этот вопрос, то мы должны понимать математику как науку, всегда сохраняющую философско-гипотетический элемент в своей основе.

В «Principia Mathematica» в предисловии к разделу «Количество» Рассел и Уайтхед пишут: «Большие трудности этого раздела порождаются теоремами существования и проблемой типов. Эти трудности исчезают, если принимается аксиома бесконечности, хотя кажется неприемлемым строить теорию, которая, может быть, на две трети зависит от допущения, что число объектов во Вселенной не является конечным. Мы должны приучить себя не прибегать к этому допущению, кроме тех случаев, где оно является крайне необходимым. Когда аксиома бесконечности действительно необходима, она помещается нами в класс гипотез, так что все утверждения теории будут истинными, даже в том случае, если эта аксиома ложна»[3]. Рассел имеет в виду здесь то, что вместо теоремы T, которая зависит от аксиомы бесконечности, мы можем ограничиться доказательством утверждения Infin. ax $\supset$ T, которое является истинным и доказуемым в рамках логических предпосылок.

Логицистская программа обоснования математики, таким образом, полностью опровергла себя в процессе своего развития. Оказалось, что математика не сводится к логике и зависит от положений, надежность которых должна быть оправдана за пределами логики. Принимая этот факт, мы, однако, должны отклонить натуралистические и скептические выводы Рассела как недостаточно обоснованные. Очевидно, что Рассел исходит здесь из позитивисткой дихотомии аналитического и синтетического, согласно которой утверждения, относящиеся к логике, имеют чисто аналитическую природу, а все осмысленные синтетические утверждения — эмпирическую основу. Это, однако, слишком сильное допущение. Математика, конечно, выходит за пределы логической истинности своих утверждений. Однако отсюда еще не следует, что она выходит за пределы аподиктической очевидности своих исходных синтетических утверждений. Вместе с тем необходимо отметить, что отрицательный результат логицистского анализа не является достаточным для отказа математики от претензии на строгое обоснование своих исходных принципов. Попытки такого обоснования были

[3] *Whitehead A., Russell B.* Principia Mathematica. V. 3. Cambridge, 1929. P. 234. См. также: *Рассел Б.* Введение в математическую философию. М., 1998. Гл. 13.

предприняты, в частности, в рамках интуиционистской и формалистской программ обоснования математики.

Интуиционистский подход

Основные принципы интуиционистского обоснования математики (в том виде, как они были намечены Брауэром) могут быть сформулированы в следующих трех положениях.

1. Исходные математические объекты признаются в качестве существующих только на основе непосредственной, содержательно суперпростой («глобальной») интуиции.

2. Новые, производные объекты должны строиться только из исходных под контролем той же глобальной интуиции.

3. Расширение математического знания посредством логики (дедукции) законно лишь в той мере, в которой оно соответствует возможностям его прямого интуиционистского контроля и обоснования.

Интуиционизм как программа обоснования математики также показал себя ограниченным подходом. Обнаружилось, что многие важнейшие для математики понятия и методы не могут быть реконструированы в соответствии с требованиями интуиционистской программы. Это означало, что институционистская программа не согласуется с реальной практикой математики и исходит, возможно, из слишком умозрительных представлений о природе математического мышления. С методологической точки зрения представляется, однако, важным исследовать сущность интуиционистских ограничений и возможность их разумной либерализации.

В понимании интуитивной данности исходных математических объектов Брауэр следует за Кантом. Однако он принимает лишь интуицию времени, полагая, что кантовская априорная интуиция пространства поколеблена открытием неевклидовых геометрий. В основе математики, по Брауэру, лежит интуиция натурального ряда, которая выражается прежде всего в представлении о возможности его неограниченного продолжения.

Проблемы обоснования потенциальной бесконечности для Брауэра не существует: она снимается на основе непосредственной очевидности непрерывного продолжения натурального ряда через последовательное осуществление интуитивно ясной операции прибавления единицы к каждому вновь полученному числу.

Очевидно, что требование конструктивности всех допустимых объектов существенно ограничивает логические средства, приемлемые в интуиционистской математике. Если математика должна расширяться только в пределах возможного конструктивного оправдания, то она, согласно интуиционистам, должна исключить из логических правил при рассуждениях о бесконечных последовательностях закон исключенного третьего и правило снятия двойного отрицания, т. к. их принятие ведет к признанию многих утверждений о существовании, не имеющих конструктивного оправдания. Понятие отрицания получает при этом специфический смысл, отличный от его трактовки в традиционной логике: мы можем отрицать здесь общее суждение только посредством построения контрпримера, а утверждение о несуществовании некоторого объекта только через сведение к противоречию допущения о его существовании. Логические константы и кванторы вследствие этого должны получить существенно другое значение, также определенное идеей построения: мы полагаем некоторое суждение истинным для всех значений переменной, если мы имеем возможность конструктивного обоснования его истинности для любого из этих значений.

Классическая логика у Брауэра не просто ограничивается, она фактически устраняется в качестве важного фактора расширения системы математических утверждений, ибо доказанное на основе логических схем должно быть впоследствии обосновано посредством математической конструкции, не предполагающей ряда классических принципов логики. Логика в интуиционизме, таким образом, выполняет лишь функцию сокращения конструктивных рассуждений и не является автономным механизмом решения математических задач.

Интуиционистская философия математики последовательно антиплатонистична. Математические объекты понимаются здесь лишь как мысленные конструкции, не имеющие существования, независимого от конструктивной деятельности человеческого сознания. Брауэр считает, что законы математики не имеют статуса законов физики, ибо если бы человечество было вдруг уничтожено, то в мире не осталось бы никакой реальности, о которой утверждается в теоремах математики, в то время как физические законы в качестве объективных связей продолжали бы существовать. С этой точки зрения, математическое творчество по своей сущности — изобретение, но никоим образом не открытие и не отражение какой-либо реальности. Интуиционизм Брауэра в этом смысле прямой антипод платонизму Кантора, Вейерштрасса, Коши и др., которые настаивали на предсуществовании математических объектов и на их тождестве в этом отношении объектам других наук (физики, химии, географии т. п.).

Хотя Брауэр принимает априорное представление о времени как интуитивную основу арифметики, было бы ошибочным рассматривать эту его общую философскую установку как вариант кантовского априоризма. Дело в том, что он не только допускает зависимость логики от содержания мышления, что, конечно, противоречит кантовскому подходу, но и рассматривает математические объекты как зависимые от математического субъекта. Более того, он часто обсуждает математическую интуицию исключительно в психологическом плане, как элемент индивидуального сознания. У Брауэра фактически отсутствует идея априорной объективной формы мышления, которая выше индивидуальной психики и всякой субъективности. Он усматривает сущность математических объектов исключительно в актах свободного конструирования, но ни в коем случае не в экспликации трансцендентального содержания мышления.

Наиболее радикальное отличие интуиционизма от логицизма состоит в понимании роли знаков и символического языка в математическом мышлении. Намерение Фреге, как мы видели, состояло в том, чтобы заменить расплывчатый язык математических рассуждений языком однозначных символов и строгих определений. Брауэр, напротив, видит в символическом языке нечто чуждое природе математического мышления. Идеально строгое мышление, по Брауэру, протекает на уровне мысленного конструирования, на уровне непосредственного сцепления интуитивно ясных представлений, которые лишь более или менее адекватно могут быть отражены в рамках символов и формальных определений. Брауэр считает,что формальный язык математики уводит нас в сторону от математической истины, как только он уходит из-под контроля непосредственного интуитивного восприятия объектов. Логицисты, по его мнению, выдают за суть математики лингвистическую структуру, пригодную лишь в качестве средства передачи математической мысли. Брауэр, таким образом, ищет строгость математики не в очевидности символических построений, а в очевидности самих математических объектов, в их непосредственной данности сознанию. Символический язык, согласно Брауэру, может использоваться в математике лишь в тех пределах, в которых он не становится самодовлеющим, затемняющим математику как процесс построения и эффективного исследования конкретных математических объектов. При таком подходе аксиоматическое определение теории полностью теряет смысл, а за механизмом логической дедукции остается лишь роль схематизации и сокращенного представления конструктивных выводов.

Интуиционизм как определенное видение предмета математики, состоящее в том, что математические абстракции не должны терять связи с конкретными объектами и интуитивно ясными операциями, появился задолго до появления парадосов в теории множеств. Эта идеология имела место уже в высказываниях Гаусса и Кронекера. Оба этих математика были убеждены в том, что актуальная (завершенная) бесконечность не может быть предметом математического рассуждения и что математика, для того чтобы оставаться строгой дисциплиной, не должна уходить из сферы объектов, относительно которых мы имеем право выносить абсолютно ясные и непосредственно проверяемые суждения. Но это были доводы, проистекающие скорее из абстрактной философии, чем из каких-либо затруднений внутри математики. Появление парадоксов в логике и в теории множеств превратило эту старую идею в практически значимую методологическую установку. Уже в первых своих работах по основаниям математики Брауэр связывает интуиционизм с проблемой устранения парадоксов. Он высказывает убеждение, что окончательное избавление от парадоксов возможно лишь через принятие интуиционистского взгляда на математику и на границы применения классической логики[4]. Интуиционизм приобретает статус программы обоснования математики, становится системой требований к перестройке математического знания, устраняющей некорректность обычных (классических) доказательств.

Мы должны прежде всего зафиксировать то обстоятельство, что интуиционистски построенная теория, несомненно, надежна. Столь же очевидно, однако, и то, что интуиционистская философия математики вследствие свойственной ей психологичности не обосновывает этого факта с достаточной строгостью. Брауэр ищет истоки праинтуиции в психике субъекта, в психологической необходимости перехода от мысленного акта как целого к разделению его на два элемента и к возможности повторения этого процесса до бесконечности[5]. Обращение к такого рода чисто психологическим конструкциям ничего не доказывает: они заведомо недостаточны для оправдания надежности представлений арифметики.

Нетрудно видеть, что интуиционистская программа обоснования содержит в себе глубокое методологическое противоречие: претендуя на максимальную строгость обоснования математического знания, она

---

[4] См.: *Brouwer L.* The unreliability of the logical Principles. In: Brouwer L.E.J. Collected Works. Vol. 1 // Philosophy and Foundations of Mathematics. Amsterdam; Oxford, 1975. P. 110.

[5] См.: *Brouwer L.* Intuitionism and Formalism, Collected Works. Vol. 1. P. 90—92.

опирается на принципы, имеющие только психологическое оправдание. В идее математических объектов как мысленных конструкций заключен также релятивизм, чуждый идее абсолютно надежного обоснования.

С адекватной философской точки зрения фундаментальность представления о натуральном ряде обусловлена наличием идеально-предметных представлений как необходимой части универсальной онтологии. Всякое действование в мире связано с представлением об идеальном предмете, обладающем конечностью, стабильностью, изолированностью и другими качествами, определяющими саму возможность деятельности с ним. Идея пространства определяет представление об аддитивных совокупностях таких предметов, а идея времени задает их упорядоченность в процессе счета. Натуральный ряд чисел, таким образом, это интеллектуальная конструкция, обусловленная системой универсальных категориальных представлений и однозначно определенная на этом уровне. Фиксируя этот момент, мы освобождаемся от всякого психологизма и приходим к пониманию однозначности и непреложности первичных математических представлений для человеческого сознания. Натуральный ряд чисел не конструируется ни индивидуальным, ни коллективным разумом. Это идеальное видение вещей, необходимая форма видения вещей в процессе действия, навязанная человеческому разуму в силу его деятельностной природы.

В смысле строгости обоснования программа интуиционизма в доступной ей зоне действия находится вне критики, ибо самоочевидные конструкции разума на основе аподиктически самоочевидных предметов, какими являются конечные числа натурального ряда, являются предельно надежными конструкциями и не могут включать в себя противоречивых допущений. Теория онтологической истинности полностью оправдывает интуиционистскую математику в смысле ее надежности и признает интуиционистское обоснование математических теорий там, где оно возможно, в качестве предельно надежного (или абсолютного) обоснования.

Недостаток интуиционистской программы, как уже сказано, состоит в ограниченности ее возможностей. Охватывая арифметику и алгебру, а также и геометрические теории в той мере, в которой они допускают арифметическую интерпретацию, интуиционистская программа оказывается неспособной реконструировать основные утверждения классического анализа. Брауэр сам доказал положение о том, что важная для анализа теорема Больцано — Вейерштрасса не доказуема в интуиционистской математике[6]. Причина этой ограниченности состоит прежде всего в отказе от использования классической логики в полном объеме. Фактически Брауэр поставил задачу воспроизвести все содержание математики, опираясь только на собственно математические очевидности, отказавшись от логики как автономного средства расширения области истинных математических суждений. В настоящее время следует считать хорошо обоснованным то обстоятельство, что ни логика, ни арифметика, взятые порознь, не достаточны для того, чтобы быть основанием математического знания в целом.

Несмотря на это обстоятельство, было бы неправильным полностью отказаться от круга идей, связанных с интуиционизмом. Основная мысль Брауэра основана на противопоставлении содержательной и формальной математики, интуитивного и формального подходов к обоснованию строгости математики. Брауэр был убежден, что и принятие отдельных доказательств и принятие математической теории как системы утверждений происходит в сфере содержательных представлений и не нуждается в искусственных лингвистических приемах, к которым прибегали Фреге, Пеано, Рассел. Прояснение онтологической природы математического мышления позволяет утверждать, что по большому счету истина в этом споре находится на стороне Брауэра.

Реабилитация математического априоризма на праксеологической основе позволяет не только оправдать интуиционистскую программу в смысле ее надеж-

[6] См.: *Гейтинг А.* Интуиционизм. М., 1965. Гл. 8.

ности в доступной ей области, но и наметить некоторые пути ее расширения, совместимые с надежностью обосновательного рассуждения. Мы должны отвлечься здесь от основной цели интуиционистской программы, т. е. от задачи конструктивной редукции математики к исходным представлениям арифметики, считая, что ее несостоятельность в этом смысле полностью доказана, и сосредоточить свое внимание на прояснении вопроса, в какой степени интуиционистские идеи при их праксеологической интерпретации могут быть использованы в деле обоснования непротиворечивости основных теорий современной математики и в какой степени программа интуиционизма может быть усилена, исходя из более широкой трактовки непосредственной данности математических объектов.

Имеются основания утверждать, что праксеологическая трактовка самоочевидности первичных математических объектов и операций открывает некоторые новые возможности внутреннего обоснования математики, существенно родственные интуиционизму и достаточные для обоснования непротиворечивости центральных теорий современной математики.

Формалистская программа обоснования математики

Теперь рассмотрим возможности формалистской программы обоснования математики, которая была предложена Д. Гильбертом. Целью обоснования математики является здесь не редукция математики к логике или к арифметике, а обоснование непротиворечивости каждой математической теории в отдельности. Идея Гильберта состояла в том, чтобы обосновать непротиворечивость одной (данной) математической теории на основе рассуждений другой математической теории (метатеории), которая является непротиворечивой по самому составу своих принципов.

Мы можем понять сущность программы Гильберта из его отношения к исследованиям Рассела и Брауэра. Гильберт считал, что расселовское обоснование математики не является реализуемым, поскольку оно опирается на утверждения типа аксиомы сводимости и аксиомы бесконечности, которые не являются только логическими истинами. Он был также категорически не согласен с подходом Брауэра, который, по его мнению, является разрушительным для математики. Вместе с тем он соглашался с Фреге и Расселом в том, что строгость математики может быть достигнута только через уточнение ее языка и через прояснение логической структуры теории. Гильберт, как это признано, взял у логицистов понятие строгой аксиоматизации и формализации математической теории. Он соглашался с Брауэром в том, что закон исключенного третьего не применим к математическим утверждениям, связанным с актуальной бесконечностью. Как и Брауэр, он считал, что истинность математического суждения относительно бесконечного множества не может быть проверена и вследствие этого строгая альтернатива утверждения и отрицания, выражаемая законом исключенного третьего, не может быть принята в качестве безусловной нормы.

Эта установка выразилась у Гильберта в его принципе финитизма, согласно которому «оперирование с бесконечным может быть сделано надежным только через конечное»[7]. Финитизм Гильберта, однако, не столь радикален как финитизм Брауэра: если Брауэр хотел устранить актуальную бесконечность из математики вообще как понятие, не имеющее смысла, то Гильберт считал возможным сохранить ее в тех пределах, в которых она допускает финитное обоснование.

Процедура обоснования математики, согласованная с этими общими установками, предполагает формализацию теории, т. е. представление ее аксиом в виде формул, записанных в принятой системе логических и математических символов. Математическая теория превращается в знаковый объект, подчиненный формальным манипуляциям, основанным на структуре ее формул. Формализованная теория предполагает содержательную метатеорию, которая включает в себя опи-

[7] См.: *Гильберт Д.* Избранные труды. Т. 1. М., 1998. С. 448.

сание структуры формализма, принципы допустимой логики и специальные правила преобразования (принцип индукции и т. п.), допустимые в рамках данной теории. Метатеория, по замыслу Гильберта, должна быть безусловно истинной и достаточной для строгого обоснования непротиворечивости формализма. Это обоснование должно состоять в доказательстве того факта, что в рамках формальной системы в соответствии с правилами логики и правилами введения производных объектов, не может быть получено выражение, имеющее вид «0 = 1» или какое-либо другое противоречие.

Целью формалистского анализа, как и всякого другого обосновательного рассуждения, являются, конечно, реальные математические теории, различающиеся по своему содержанию и методу. Специфика формалистского подхода состоит в том, что заключение о непротиворечивости реальной математической теории предполагается вывести здесь доказательства из непротиворечивости ее формализованого аналога. Формалистское обоснование покоится на допущении, что непротиворечивость формализма, будучи доказанной, гарантирует полную надежность соответствующей содержательной теории.

Успех формалистского обоснования должен обеспечиваться, очевидно, надежностью метатеоретического доказательства. Гильберт формулирует ряд требований к метатеории, которые известны как принципы гильбертовского финитизма. Они могут быть сведены к следующим положениям:

1. Метатеория является *синтаксической* теорией в том смысле, что она имеет дело только со знаковой структурой теории и с преобразованиями, допустимыми в этой структуре. Метатеоретическое обоснование непротиворечивости теории — это обоснование, апеллирующее только к логической форме теории и не использующее никаких допущений о содержании ее понятий и принципов.

2. Метатеория является *содержательной* теорией в том смысле, что она относится к формализму как к своему единственному предмету и в своих предпосыл-

ках не выходит за пределы описания его самоочевидных свойств.

3. Метатеория является *финитной* в том смысле, что она не имеет дела с операциями с бесконечными множествами и с математическими принципами, связанными с допущением актуальной бесконечности.

4. Метатеория является *конструктивной* в том смысле, что всякое утверждение о существовании объекта в ее рамках должно быть подтверждено процедурой его построения.

Легко видеть, что все эти требования являются необходимыми для метатеории с точки зрения понятия строгости, сформировавшегося в начале века под влиянием логицистского и интуиционистского анализа проблемы. Часто указывается, и в определенном смысле это верно, что Гильберт не дал полного определения метатеории, устраняющего всякие колебания относительно возможного ее содержания. Методологический замысел Гильберта, однако, совершенно ясен. Он состоит в том, чтобы ограничить метатеоретическое рассуждение таким образом, чтобы оно гарантировало его максимально возможную достоверность. Метатеория должна быть способной доказывать непротиворечивость формализованных теорий, а следовательно, и непротиворечивость соответствующих им содержательных теорий, независимо от их содержания.

Важно отметить, что программа Гильберта, точно так же как и программа Брауэра, опирается на идею априорности исходных представлений математики. Гильберт полагал, что ядро математики имеет внеопытную, априорную природу. В статье «Познание природы и логика» он писал: «Философы и в самом деле утверждали, — и Кант был классическим представителем этой точки зрения, — что помимо логики и опыта мы обладаем еще и некоторыми априорными знаниями о действительности. Я допускаю, что уже для построения теоретических каркасов различных теорий некоторые априорные представления необходимы и что именно они всегда лежат в основе осуществления нашего знания. Я полагаю, что и математическое знание в конечном счете также основывается на некоторой разновидности такого созерцательного понимания и что даже для построения арифметики нам необходима определенная априорная установка... По существу, она и есть та финитная установка, которую я охарактеризовал в ряде своих работ»[8].

Для того чтобы быть безупречной, метатеория, очевидно, должна быть априорной. Гильберт, однако, считал, что метатеория должна иметь не философское, а внутреннее, собственно математическое содержание. Речь идет здесь о требовании, которое получило в дальнейшем название принципа отделения оснований математики от ее философии. Это положение означает, что понятия и принципы метатеории должны быть строго определены на основе собственно математических критериев. Принимая факт априорности элементарной математики, Гильберт отождествляет априорность с финитностью и формулирует требование финитности в качестве основного критерия и для метатеории. Мотив этой замены ясен: требование финитности является математическим и, несомненно, более определенным, чем понятие априорности.

В методологии формализма важное место занимает так называемая теория идеальных элементов, которая требует более детального разъяснения. Разделение идеальных и реальных элементов было введено Лейбницем для объяснения бесконечно малых величин. Лейбниц считал, что эти величины, не являясь реальными, т. е. не имея убедительной интуитивной основы, выполняют в математике роль полезных фикций, расширяющих возможности оперирования с реальными величинами. Он относил к этим фикциям также мнимые и иррациональные числа. Эта идея была эффективно использована затем в методологических рассуждениях Л. Карно по обоснованию математического анализа. «В алгебре, — писал Карно, — вводят в вычисления чисто мнимые понятия, фиктивные сущности, которые не могут ни существовать, ни быть понятыми, но которые не теряют, однако, от этого своей полезности. Их употребляют

[8] *Гильберт Д.* Познание природы и логика // Гильберт Д. Избранные труды. Т. 1. М., 1998. С. 461–463.

вспомогательным образом, как термины сравнения, для облегчения сопоставления истинных количеств, связь между которыми желают получить, и затем их исключают посредством преобразований, представляющих, так сказать, чисто механическую работу»[9]. Н.И. Лобачевский, в частности, использовал эту идею для оправдания законности «воображаемой» геометрии. Он исходил из того, что даже если изобретенная им новая геометрия нигде не выполняется в реальности, она является важной для математики как средство развития математического анализа[10].

Понимание идеальных элементов у Гильберта является новым в том отношении, что оно ставится здесь в зависимость от точки зрения на математический объект. Равенство *«$a + в = в + a$»* является, по Гильберту, реальным, если оно рассматривается в отношении бесконечного количества своих арифметических интерпретаций, и становится идеальным, когда оно рассматривается как лишенная смысла строчка символов в полностью формализованной теории. Такая трактовка идеальных элементов необходима ему прежде всего для оправдания закона исключенного третьего в рассуждениях об этих элементах. Этот закон неприменим к указанной формуле в ее содержательной интерпретации, поскольку эта интерпретация предполагает обращения к бесконечному множеству. Но он применим к ней, когда она рассматривается как только конечная знаковая конфигурация в системе объектов того же типа. Закон исключенного третьего таким образом включается в формализованную теорию, которая полностью состоит из идеальных (конечных) объектов, и исключается из содержательной метатеории, обосновывающей непротиворечивость формальной теории.

Центральное место в системе идеальных элементов занимает ε-функция, на основе которой формулируется ε-аксиома, занимающая важное место в гильбертовском подходе к обоснованию математического

---

[9] *Карно Л.* Размышления о метафизике бесконечно малых. М.; Л., 1933. С. 219.

[10] См.: *Лобачевский Н.И.* Полн. собр. соч. Т. 1. М., 1946. С. 261.

анализа. Если мы имеем предикат А с областью определения {x}, то ε — функция от предиката А (обозначим как е (А)) указывает на объект из области {x}, для которого она наверняка выполняется, если она вообще выполняется для объектов этой области. На основе этого, очевидно, неконструктивного понятия Гильберт формулирует трансфинитную аксиому имеющую вид:

$$A(\varepsilon(A)) \rightarrow A(a),$$

где а — предмет, принадлежащий множеству {x}. Эта аксиома является для Гильберта важной частью метатеории, нацеленной на обоснование анализа. Очевидно, что она связана с выходом за пределы финитности, поскольку предполагет возможность выбора элемента из бесконечного множества. Гильберт, однако, считает, что введение этой аксиомы не нарушает финитной установки, поскольку ε-функция может быть исключена из окончательного доказательства непротиворечивости. Иными словами, Гильберт рассматривает ε-функцию как идеальный метатеоретический объект, который является лишь средством достижения результата и который в конечном итоге исключается из результата и из его доказательства. Здесь мы имеем полную аналогию того процесса обоснования, о котором говорил Л. Карно применительно к использованию фикций в алгебре.

Метод абсолютного обоснования непротиворечивости формализованной теории реализуется для простых исчислений, таких как исчисление высказываний, исчисление предикатов и абстрактная теории групп, но он оказывается неприменимым для основных теорий, с которыми имеет дело математика. Неразрешимой оказалась уже задача обоснования непротиворечивости формализма арифметики. Принято считать, что причины этой ограниченности полностью раскрываются теоремой К. Геделя о непротиворечивости (1931), которая утверждает, что если исчисление непротиворечиво и является достаточным для выражения аксиом арифметики, то его непротиворечивость не может быть доказана в финитной метатеории или в метатеории, допускающей арифметизацию. Поскольку достаточно очевидно, что любая финитная метатеория, нацеленная исключительно на описание синтаксиса теории, арифметизируема, то ни арифметика, ни анализ, ни теория множеств, взятые в виде формализма, вопреки намерениям Гильберта не могут рассчитывать на обоснование непротиворечивости в финитной метатеории. Мы должны говорить в этом случае о явном провале программы Гильберта.

Гильберт, как известно, не соглашался с такой трактовкой результата Геделя. «...Я хотел бы подчеркнуть, — писал он, — что возникшее на определенное время мнение, будто из некоторых недавних результатов Геделя следует неосуществимость моей теории доказательств, является заблуждением. Этот результат на самом деле лишь показывает, что для более глубоких доказательств непротиворечивости финитная точка зрения должна быть использована некоторым более сильным образом, чем это оказалось необходимым при рассмотрении элементарных формализмов»[11]. Под усилением финитного подхода Гильберт имеет здесь в виду использование метода идеальных элементов.

Исследования Гильберта и Бернайса показывали, что метатеория, необходимая для обоснования арифметики и анализа, должна содержать следующие аксиомы.

1. Аксиомы исчисления высказываний (1 – 6).
2. Аксиомы равенства:
   7) $a = a$
   8) $a = в \to (A(a) \to A(в))$
3. Аксиомы числа:
   9) $a + 1 = 0$
   10) $\delta\ (a + 1) = a$
4. Трансфинитная аксиома
   11) $A\ (\varepsilon(A)) \to A\ (a)$[12].

Последняя аксиома включает в себя нефинитность, но, как уже сказано, ее предполагаемое использование в доказательствах обусловливается возможностью

---

[11] *Гильберт Д., Бернайс П.* Основания математики. Т. 1. М., 1982. С. 19.

[12] См.: *Гильберт Д.* Избранные труды. Т. 1. С. 419 – 422.

ее элиминации из доказательства. Первая реакция Гильберта на теорему Геделя исходила из его уверенности в том, что процедура элиминации ε-функции может быть осуществлена во всех доказательствах непротиворечивости. Дальнейшие исследования показали, однако, что этот план не реализуем даже применительно к арифметике. Гильберт и Бернайс должны были признать, что пока не обладают средствами для устранения геделевских ограничений.

Подавляющее большинство современных математиков и логиков, вовлеченных в обосновательную проблему, убеждены в том, что ограничения Геделя не могут быть устранены никакими ухищрениями и, следовательно, невозможно построение простой (финитной) метатеории, которая была бы достаточна для строгого обоснования непротиворечивости арифметики и теорий, содержащих арифметику. Это значит, что гильбертовская программа также потерпела поражение, как и другие, рассмотренные выше попытки обосновать абсолютную надежность математических теорий.

Кризис обоснования и возможные перспективы новых программ

Крушение программ обоснования, выдвинутых в начале XX в., привело к выводам о невозможности абсолютно надежного обоснования математики вообще и появлению устойчивого скептицизма в отношении абсолютной строгости математического мышления. Основной предпосылкой скептицизма в современной философии математики является тезис: «Если математику нельзя обосновать в самой математике, то ее нельзя обосновать вообще». Это положение выглядит убедительным, ибо было бы абсурдным искать обоснования строгости математической науки в сфере менее строгих соображений.

Современное состояние философии математики существенно определено этой скептической идеей. В качестве следствия как нечто бесспорное выдвигается положение о методологическом родстве математики и опытных наук, которое не оставляет места для представления о математике как о строгой и абсолютно обоснованной науке. И. Лакатос подвел эту ситуацию под общую формулу, состоящую в том, что «основания не могут быть обоснованы»[13]. Известный логик Л. Кальмар предлагал вообще снять проблему обоснования как специфическую лишь для математики. «...Непротиворечивость наших формальных систем, — писал он, — есть эмпирический факт: даже там, где она может быть доказана, приемлемость используемых при доказательстве методов имеет опять же лишь эмпирическое обоснование. ...Почему мы не можем не признать, что математика, подобно другим наукам в конце концов базируется на практике и проверяется ею?»[14] Это довольно типичная позиция, повторенная бессчетное количество раз при описании современной ситуации в основаниях математики.

Мы считаем, что эмпирическая философия математики, отождествляющая математическое знание с эмпирическим в смысле строгости и обоснования, является несостоятельной. Крен к эмпиризму в философии математики, наметившийся в середине XX в. и существующий до сих пор, является явно неадекватной реакцией на ситуацию в основаниях математики, на провал выдвигавшихся ранее программ ее обоснования.

Возможности обоснования математики, однако, еще далеко не исчерпаны. Об этом говорит, в частности, теорема Геделя об интуиционистской интерпретации классической арифметики (1933), из которой следует, что проблема доказательства непротиворечивости обычной арифметики сводится к решению этого вопроса для интуиционистской арифметики. Если принять то положение, что интуиционистское представление арифметики обеспечивает ее непротиворечивость по самой своей сути (против такого положения у нас не может быть каких-либо возражений), то

[13] См.: *Лакатос И.* Доказательства и опровержения. С. 80.

[14] Problems in the philosophy of mathematics. Amsterdam, 1967. P. 193.

мы должны признать, что проблема непротиворечивости арифметики решена полностью и абсолютно надежными средствами, хотя и не в соответствии с программой Гильберта. Эта ситуация дает нам основание думать, что ограниченность программы Гильберта для доказательства непротиворечивости некоторой теории не означает, что она не может быть обоснована некоторыми другими и не менее надежными рассуждениями.

Радикальная критика формалистской программы, исходящая из теорем Геделя, не может быть признана вполне корректной и в том смысле, что она, как показывает анализ, приписывает этим теоремам значительно большую общность, чем та, которой они обладают по логике доказательства. Общее заключение теоремы Геделя о непротиворечивости основано на формуле:

$$\mathrm{ConsisT} \to G,$$

где ConsisT — утверждение о непротиворечивости арифметики, а G — формула, заведомо невыводимая в арифметике. Т. к. формула ConsisT → G выводима в арифметике, то доказательство в метатеории непротиворечивости арифметики вело бы к признанию выводимости формулы G, невыводимость которой доказана. С. Феферман показал (1960), что возможно построение более слабых формул, соответствующих содержательному смыслу ConsisT, для которых недоказуема импликация ConsisT → G и выведение которых в метатеории, таким образом, не входило бы в противоречие с теоремой Геделя[15]. Радикальное истолкование теоремы Геделя ошибочно, поскольку оно исходит из допущения, что теорема Геделя истинна не только для формы ConsisT, используемой в доказательстве Геделя, но и для всех формальных выражений, которые могут быть истолкованы в качестве утверждений о непротиворечивости теории. Ясно, что допущение альтернативных ConsisT, даже чисто теоретическое, отклоняет радикальную оценку программы

[15] См.: *Мендельсон Э.* Введение в математическую логику. М., 1972. С. 108.

Гильберта как ограниченную только сферой теорий более бедных, чем арифметика.

В этой связи следует также отметить исследования А.С. Есенина-Вольпина по ультраинтуиционистскому обоснованию математики. Автор предложил концепцию арифметики, построенную на допущении практической бесконечности конечных чисел натурального ряда и попытался обосновать на этом предположении непротиворечивость системы аксиом теории множеств в форме ZF[16].

Ю.Л. Ершов и К.Ф. Самохвалов считают, что программа финитного обоснования, не будучи применимой к таким теориям, как теория множеств, в действительности может быть реализована для множества теорий или их фрагментов, связанных с решением задач. По мнению авторов, ограничения Геделя не действуют для этого класса теорий, оставляя принципиальную возможность их финитного и абсолютного обоснования[17].

Идея неиспользованных возможностей финитного подхода лежит в основе исследований Я. Мациельского по обоснованию анализа. «Конечная математика» Мациельского основана на возможности формального исключения актуальной и потенциальной бесконечности из математических формул посредством их записи с использованием ограниченных кванторов. Предполагается, что мы можем переформулировать все утверждения формализованной математической теории как утверждения, относящиеся к конечной, хотя и неопределенной области предметов. К примеру, утверждение $\forall x\ \exists y\ (y = x + 1)$ может быть записано в виде $(\forall x < \Omega)\ (\exists y < \Omega)\ (y = x + 1)$, где Ω — неопределенное конечное число. Обосновательный прогресс основывается на теореме Мациельского(1986), согласно которой теория, сформулированная в конечных

[16] См.: *Есенин-Вольпин А.С.* Анализ потенциальной осуществимости // Логические исследования: Сборник статей. М., 1959. С. 218—262.

[17] См.: *Ершов Ю.Л., Самохвалов К.Ф.* О новом подходе к методологии математики // Закономерности развития современной математики. М., 1987. С. 85—105.

кванторах, является равнозначной исходной теории в плане непротиворечивости, а с другой стороны, допускает обоснование непротиворечивости на основе конечных моделей. Теория конечной математики претендует на строгое финитное обоснование анализа, абсолютно свободное от использования как актуальной, так и потенциальной бесконечности[18].

Существует также доказательство непротиворечивости арифметики Н.М. Нагорного, которое опирается на некоторый класс семантических допущений, финитность и надежность которых не вызывают сомнения[19].

Эти подходы нельзя считать заведомо ошибочными. Они могут содержать в себе веские аргументы, показывающие относительность запретов, которые истолковывались до некоторого времени в качестве абсолютных. Мы не будем вдаваться в анализ этих альтернатив, вследствие их сугубо логического характера. Однако само их существование говорит о том, что теоремы Геделя в настоящее время не принимаются всеми в качестве полного запрета на программы строгого обоснования арифметики и других математических теорий.

Принципиальная возможность новых и более успешных программ строгого обоснования математики становится совершенно очевидной при более широком философском взгляде на проблему. Исходный пункт развиваемой нами праксеологической философии математики заключается в том положении, что генетическим фундаментом математики является не опыт, не конвенция и не логика, а аподиктическая очевидность, порожденная деятельностной ориентацией сознания. Исходные математические структуры с этой точки зрения определены категориальным видением мира и не подлежат корректировке на основе опыта.

---

[18] См.: Shaughan Lavine Understanding the Infinite Harvard University press. 1994. Ch. IX.

[19] См.: *Нагорный Н.М.* К вопросу о непротиворечивости классической формальной арифметики. Вычислительный центр РАН. М., 1995.

Мы следуем, с одной стороны, по пути априоризма, который связывает исходные математические представления с универсальными формами мышления. Однако мы рассматриваем формы мышления не как имманентные структуры сознания и не как продукт его внутренней активности, а как идеализации, порожденные в сфере практической деятельности, как выражение онтологических оснований этой деятельности и, таким образом, понимаем их как специфическую картину реальности, задаваемую процессом деятельности. Исходные математические теории получают при таком подходе реальный статус как формальные структуры, коррелятивные универсальной онтологии.

Это значит, что математическое знание содержит в себе некое априорное ядро, некий априорный центр, который однозначно задан структурой категориального видения мира. Математики начала века были безусловно правы в том предположении, что существует часть математики, не подверженная сомнению и что, будучи выявленной, она может играть роль абсолютного основания для других частей математического знания. С этой точки зрения логицизм, интуиционизм и формализм различаются лишь тем, что опираются на различные части абсолютно надежной математики. Можно предположить, что они без всякого противоречия могут быть соединены в единой обосновательной программе, опирающейся на весь объем онтологически истинного знания. Уже в этом плане возможность новой, более широкой и эффективной программы логического обоснования математики представляется вполне реальной.

Если говорить о формалистской программе как наиболее продвинутой, то ее расширение может быть достигнуто прежде всего через пересмотр принципов построения метатеории и допустимых в ней логических средств. Основная слабость этой программы состоит в незавершенности ее методологического обоснования. Определяя общие задачи своего подхода к анализу оснований математики, Гильберт пишет: «Надо повсюду установить такую же надежность логических средств, как и та, что имеется в обыкновенной элементарной арифметике, где никто не испытывает ни малейших сомнений и где противоречия и парадоксы возникают лишь в результате нашей невнимательности»[20]. Но чем объяснить, что в элементарной арифметике существует такой уровень надежности? Не имея ясного ответа на этот принципиальный вопрос, мы имеем мало шансов указать границы надежной логики, надежной метатеории и надежного обоснования математики в целом.

Праксеологическая концепция математических идеализаций дает нам определенную основу для ответа на этот вопрос. В основе математического мышления лежит некая система категориальных очевидностей, которая является абсолютной формой для него. Надежная основа математики определяется безусловной онтологической истинностью ее ядра.

Это понятие важно в том отношении, что оно вносит радикальные изменения в понимание метатеории. С этой точки зрения в основе надежной метатеории должна лежать онтологически истинная математика, независимо от ее отношения к таким характеристикам как финитность или конструктивность. Это значит, что мы можем расширить строгую метатеорию в смысле Гильберта за счет введения в нее некоторых онтологически истинных, хотя и нефинитных суждений. Анализ логики и общих принципов математики уже дает нам некоторую основу для реабилитации такого рода нефинитной метатеории.

Если верно, что закон исключенного третьего не имеет тех дефектов, которые приписывает ему интуиционистская критика, то мы можем отказаться от требования конструктивности метатеоретических рассуждений, которое является основополагающим для метатеории Гильберта. Имеем ли мы сегодня какие-либо основания для заключения, что закон исключенного третьего может быть причиной противоречий? Ни практика математики, ни теория логики не оправдывают сегодня положительного ответа на этот вопрос. Но это значит, что наше метатеоретическое рассуждение

[20] *Гильберт Д.* Избранные труды. Т. 1. С. 439.

может опираться на этот закон без каких-либо ограничений, удовлетворяя при этом всем требованиям строгости и надежности[21].

Из аподиктической очевидности семантических рассуждений следует, что они относятся к сфере онтологически истинной математики и, несомненно, также должны быть признаны в качестве законного элемента обосновательной процедуры, несмотря на то что они не могут быть включены в метатеорию в ее гильбертовском понимании. Праксеологическая философия математики обосновывает полн*ую* надежность семантических средств, по крайней мере тех из них, которые не выходят за пределы аподиктической очевидности. Все доказательства непротиворечивости, опирающиеся на такого рода качественную семантику, должны быть признаны законными и обладающими достоверностью. Разделение доказательств на семантические и синтаксические, безразличное для обычной математической практики, должно быть признано безразличным и для сферы обосновательных рассуждений.

Если мы понимаем истинное основание надежной метатеории как относящееся к сфере онтологически истинной математики, то мы должны отказаться почти от всех ее признаков, выдвинутых Гильбертом в качестве существенных. Гносеологически обоснованная метатеория не обязательно должна быть финитной, или конструктивной, или нацеленной только на синтаксис теории. С праксеологической точки зрения все эти требования должны быть заменены одним требованием, а именно требованием онтологической истинности. В конкретных случаях, разумеется, мы можем прибегать к понятиям финитности, конструктивности, обозримости и к другим понятиям, характеризующим обосновательный слой, понимая при этом их вторичность и относительную значимость по отношению к понятию онтологической истинности.

---

[21] Относительно статуса закона исключенного третьего см.: *Перминов В.Я.* Об аргументах Брауэра против закона исключенного третьего // Бесконечность в математике. Философские и исторические аспекты. М., 1990. С. 199—229.

Онтологическое понимание метатеории требует также отказа от принципа отделения оснований математики от философии, под которым Гильберт понимал необходимость определения метатеории только на основе собственно математических критериев (финитность, конструктивность и т. д.). Утверждение, что только математические критерии могут строго задать границы метатеории и устранить нежелательный произвол, является ошибочным. Метатеория как сфера абсолютной надежности предполагает также обращение и к гносеологическим критериям, таким как априорность, самоочевидность и онтологическая истинность. Хотя мы не можем выделить сферу априорной математики посредством строгих признаков, мы можем с полной определенностью утверждать априорный характер логики, аксиом арифметики и т. п. Это значит, что, не имея определения по объему, мы имеем здесь определение по содержанию, которое обеспечивает не менее строгое определение состава метатеории, чем ее определение на основе математических понятий.

Общий вывод, вытекающий из сказанного, состоит в том, что мы можем и должны снять неоправданные ограничения на состав метатеории, имеющие место в первоначальной программе Гильберта. Мы должны отказаться от его требования финитности, от ограничений на логику и, наконец, от требования к принципам метатеории, как определяемым исключительно в рамках математических критериев. Представляется, что адекватная метатеория может быть построена на основе более широких гносеологических критериев, вытекающих из понимания априорности математического знания.

Главная проблема всех программ логического обоснования математики состоит, несомненно, в определении обосновательного слоя. Какие понятия, утверждения и типы доказательств могут быть приняты как не внушающие опасений? Ни одна из программ обоснования математики не дала сколько-нибудь убедительного рационального оправдания обосновательного слоя. Гильберт берет за основу конечную математику, мотивируя свое решение тем, что элементарная математика нас никогда не подводила. Очевидно, что такого рода исторический и в своей основе индуктивный аргумент не очень соответствует задаче абсолютного обоснования математики. Эта трудность остается главной и в настоящее время. Мы можем, к примеру, принять в качестве безусловно надежных такие положения как $2 + 2 = 4$, $5 + 7 = 12$ и т. п., но можем ли мы считать столь же надежным соответствующее общее положение: $а + в = в + а$? Если это последнее утверждение понимать как результат индукции, то его надежность может быть поставлена под сомнение. Гуссерль предложил понимать такие суждения как особого рода эйдетические истины, которые являются столь же надежными как и сингулярные суждения, лежащие в их основе[22]. Такое решение представляется более близким к истине, но оно, очевидно, упирается в оправдание идеаций как особых формообразований сознания. Важно понять, что определение обосновательного слоя — прерогатива философского анализа.

Отсутствие хороших рациональных определений обосновательного слоя порождает произвольность и условность всех программ обоснования. Праксеологический анализ математической достоверности показывает, что многие запреты, принятые в этих программах, являются случайными и неоправданными. Будущая программа логического обоснования математики может возникнуть только на основе более глубокого гносеологического анализа надежности математических рассуждений, которого не имела математика начала века. С нашей точки зрения, работа по логическому обоснованию математики не закончилась, она прошла лишь очередной этап.

Системное обоснование математики

Ниже будет изложен системный подход к обоснованию сущности надежности математики. Он основан на определенном понимании эволюции математических

[22] См.: *Гуссерль Э.* Логические исследования. Т. 1, параграф 46.

структур и, в частности, на предположении об эквифинальном характере этой эволюции. Мы предлагаем рассматривать математические теории не как готовые структуры, данные в законченном виде, но как системы, усложняющие свою организацию применительно к определенным функциям. Мы строим здесь эпистемологическое рассуждение, показывающее неизбежность зрелого состояния теории, достижение его абсолютной непротиворечивости, и попытаемся выявить общезначимые признаки этого состояния.

Обоснование в процессе развития — общая черта всех теоретических систем.

Особенность математических теорий состоит в том, что самообоснование достигает здесь предела, который проявляется в полной стабилизации принципов теории. Любая формальная структура на определенном этапе своего развития достигает законченности, стабильности и абсолютной непротиворечивости своих принципов. Представляется удивительным, что, затратив массу усилий на поиски подходов к логическому обоснованию математики, философы упустили из виду естественный процесс внутреннего вызревания математических теорий, который ярко демонстрируется всей историей математики и каждой теорией в отдельности. Причина этого явления связана, по-видимому, с общим недоверием к аргументам, выходящим за пределы строгого, собственно математического рассуждения.

Идея системного подхода к обоснованию математики в некоторой степени была намечена Э. Гуссерлем. В отличие от Карнапа и Витгенштейна он выходит из круга чисто логических и структурных понятий и говорит об эволюции математических представлений, которая благодаря процессу языковой коммуникации обеспечивает стабилизацию математических понятий, «окаменение» и «оседание» математических теорий в законченной форме. Гуссерль с достаточной ясностью ставит вопрос о необходимости системного и телеологического анализа математического мышления[23]. Он,

---

[23] См.: *Гуссерль Э.* Начало геометрии // Гуссерль Э. Деррида. Начало геометрии. М., 1996. С. 210 – 246.

однако, никак не связывает это видение математики с проблемой ее обоснования.

Мы наметим здесь общий ход мысли, позволяющий понять разумность эволюционных аргументов при решении проблемы обоснования математики.

Математическая теория, как и теория эмпирическая, появляется первоначально как некоторая система интуитивно ясных утверждений и бесспорных логических связей, относящихся к определенной системе фактов. На этой начальной стадии мы, очевидно, не имеем еще ни полной системы принципов, необходимых для описания объектов, ни целостности самой системы объектов, ни гарантии логической совместности утверждений, принятых в теории. Появление первой несовершенной аксиоматики устанавливает относительное единство утверждений, выявляет логическую последовательность их развертывания и позволяет сделать систему теорем более или менее обозримой и целостной. Анализ этой системы приводит в конечном итоге к формулировке более полной и систематичной аксиоматики и т. д. Мы полагаем, что в математической теории в отличие от физической эта диалектика конечна, что она завершается полной стабилизацией аксиоматики, формулировкой ее в такой форме, которая исключает дальнейшее ее совершенствование в плане заключенного в ней содержания. Диалектика фактов и принципов в математической теории неизбежно завершается достижением предела, выявлением системы аксиом, идеально соответствующей содержанию теории.

Завершенность аксиоматики и завершенность доказательства тождественны в том смысле, что оба этих явления проистекают из принципиальной конечности математического мышления. Доказательство достигает полной стабилизации, общезначимости и абсолютной надежности вследствие того, что оно состоит из конечного числа переходов, приемлемость каждого из которых устанавливается в конечное время с абсолютной однозначностью. Выбор эффективного пути в множестве аподиктически определенных возможностей всегда разрешается научным сообществом с полной однозначностью. Логика становления математической теории обусловлена конечной определимостью математических понятий, которая проистекает, в свою очередь, из их включенности в формальную систему. Конечная определимость математических понятий делает неизбежным для любой математической теории достижение ею неколебимого (абсолютного) основания, которое недостижимо для теорий, имеющих дело с фактами опыта.

Приближаясь к стадии завершенности, система аксиом приобретает ряд свойств, которые могут служить признаками этой стадии и ее более детальным определением. Среди этих свойств наиболее важными являются: полнота, минимальность и элементарность. Под полнотой аксиоматики мы будем понимать здесь достаточность ее для логического представления признанного содержания теории. Такое понимание полноты, конечно, не тождественно логическому или метатеоретическому определению этого понятия. В логическом определении полнота аксиоматики в большинстве случаев принципиально не достижима, и мы можем говорить о полноте в этом смысле только относительно самых простых теорий. В методологическом смысле, напротив, полнота всегда достижима, ибо каждая математическая теория в процессе своего вызревания достигает такого состояния, когда ее аксиоматика признается достаточной для воспроизведения всего значимого ее содержания и адекватной ей в том смысле, что само это содержание мы начинаем определять через указание на аксиоматику. Полнота в этом смысле не имеет точного логического определения, но тем не менее она совершенно однозначно фиксируется математическим сообществом и является важнейшим признаком завершенности аксиоматики и зрелости теории.

Методологическая полнота — не продукт произвольного установления. Хотя аксиоматика арифметики логически неполна и допускает в принципе неограниченное пополнение, никто из математиков не идет по пути ее расширения. Причина этого факта заключается в требованиях внутренней детерминации математических объектов, которая имеет объективный характер. Мы продолжаем вводить новые аксиомы лишь до тех пор, пока очевидные свойства и связи объектов, данные с аподиктической очевидностью, не получат полного объяснения. Из конечности значимых свойств первичных объектов проистекает эпистемологическая конечность содержания аксиом и практическая замкнутость или полнота аксиоматики.

Приобретая полноту, аксиоматика вместе с тем приобретает и свойство минимальности, или необходимости. Обе эти тенденции связаны в том плане, что они обусловлены одними и теми же факторами совершенствования структуры математической теории: практическое использование аксиом в одинаковой степени стимулирует как раскрытие еще недостающих, так и устранение избыточных допущений, которые до определенного времени могут присутствовать в аксиоматике. Обе эти тенденции родственны в том смысле, что они в конечном итоге достигают своей полной фактической реализации. Мы имеем основания думать, что аксиоматика, принятая научным сообществом как достаточная, является вместе с тем и свободной от внутренних излишеств, т. е. абсолютно необходимой, или минимальной. Система аксиом геометрии, первоначально предложенная Гильбертом, как известно, страдала рядом недостатков: она содержала, в частности, лишнюю аксиому инцидентности и избыточные допущения относительно конгруэнтности. В настоящее время обнаружение такого рода дефектов в этой аксиоматике, конечно, исключено.

Завершенная система аксиом обладает также качеством, которое можно назвать элементарностью. Аксиома является элементарной, когда она формулируется исключительно в первичных понятиях и не требует для своей формулировки никаких производных определений. Аксиоматика арифметики является элементарной в этом смысле. При формулировке геометрических аксиом нам приходится прибегать к понятиям треугольника и прямого угла, которые не относятся к первичным понятиям аксиоматики. Общая логика построения математической теории требует сведения системы аксиом к максимальной элементарности, к максимальному исключению из системы аксиом, сформулированных через производные понятия.

Мы будем называть аксиоматику *завершенной*, если она обладает свойствами полноты, минимальности и элементарности в указанном смысле этих характеристик. Теорию, достигшую уровня завершенной аксиоматики, будем называть *хорошо аксиоматизированной* теорией, или *зрелой* теорией. Общезначимым критерием завершенности системы аксиом является ее *историческая стабильность*, выражающаяся в фактическом прекращении процесса изменений в ее составе, влияющих на ее дедуктивные возможности, и в принятии ее математическим сообществом как адекватной содержанию теории. Аксиоматика арифметики, евклидовой геометрии, теории вероятностей является с этой точки зрения, конечно, полностью завершенной, а сами эти теории, несомненно, относятся к классу зрелых, или хорошо аксиоматизированных, теорий.

Это соображения должны быть поняты прежде всего как определенная теория развития математики, позволяющая нам увидеть процесс обоснования математических теорий с точки зрения их естественной эволюции. Эта теория позволяет нам понять, что непротиворечивость математических теорий создается не их логическим анализом, а объективным процессом их самообоснования. Из системных соображений представляется совершенно ясным, что абсолютная непротиворечивость математической теории — не некий недостижимый идеал, а необходимая форма бытия всякой достаточно зрелой формальной теории и что все возникающие в математике противоречия и парадоксы — лишь проявление начального этапа ее становления. При таком подходе мы хорошо понимаем тот факт, что неудачи программ обоснования не имеют прямого отношения к реальной строгости математического мышления, которая создается и поддерживается не внешним логическим анализом, а внутренними механизмами самообоснования. Системная идеология позволяет нам, в частности, понять необоснованность утверждений, что современная математика якобы утрачивает идеалы строгости, присущие предшествующим этапам ее развития[24].

Системные соображения, будучи отнесенными к конкретной теории, могут также играть роль ее логического обоснования. Общая идея системного обоснования математической теории состоит в том, чтобы факт ее системной завершенности связать со свойством ее непротиворечивости, вывести из первого второе. Здесь возникает ряд проблем. Первая из них относится к однозначности признаков завершенной аксиоматики. Имеем ли мы основание считать аксиоматику теории множеств в системе аксиом Цермело-Френкеля (ZF) завершенной и абсолютно непротиворечивой на том основании, что разработка этой теории в течение столетия не выявила никаких противоречий? Необходимость утвердительного ответа на этот вопрос не вызывает сомнений, но этот ответ должен быть мотивирован на основе некоторых объективных признаков. Вторая трудность состоит в установлении тождества между завершенностью и непротиворечивостью математической теории, правомерности заключения от первого ко второму. Известно, что сформировавшийся кристалл может иногда содержать дефекты в своей структуре. Если сравнивать формирование математической теории с ростом кристалла, то мы должны показать, что дефекты в форме внутренних противоречий не совместимы с фактом завершенности аксиоматики. Здесь возникает также вопрос о качестве надежности всего рассуждения, ибо очевидно, что оно не будет строгим с точки зрения метатеоретического и вообще математического рассуждения. Метатеория здесь заменяется некоторого рода эпитеорией, которая наряду с логическими фактами, вытекающими из строгого анализа аксиоматических систем, будет опираться также и на чисто философские (метафизические) допущения, каким является, к примеру, предположение о стабильности системы математических фактов или утверждение о минимальности завершенной аксиоматики. Проблема состоит в том, чтобы показать, что такого рода эпитеорети-

[24] Эта идея последовательно проводится М. Клайном. См.: *Клайн М.* Математика. Утрата определенности. М., 1994.

ческое, т. е. заведомо содержательное, рассуждение может быть доказательным.

Эти трудности в принципе, видимо, устранимы. Завершенность аксиоматики является для математического сообщества ничуть не менее определенным и однозначно воспринимаемым фактом, чем завершенность некоторого признанного доказательства. Анализ логики развития математической теории показывает, что противоречия в ней будут систематически возникать до тех пор, пока не будут устранены порождающие их неадекватные определения. В этом плане факт длительного отсутствия противоречий в ZF и наблюдаемая стабильность этой системы аксиом говорят о достижении ею стадии завершенности и абсолютной непротиворечивости. Для оправдания доказательности системных доводов мы должны оставить предрассудок, согласно которому надежная дедукция возможна лишь на уровне формализации[25].

Роль философии в решении проблемы обоснования математики

Проблема обоснования математики была поставлена в начале XX в. в связи с появлением парадоксов в логике и теории множеств и содержала в себе две основные задачи: в узком смысле она состояла в том, чтобы найти способ избавиться от существующих парадоксов без разрушения сложившихся теорий, в более широком — найти общие принципы построения математических теорий, гарантирующие их непротиворечивость. В первом плане проблему можно считать решенной, поскольку в рамках логического анализа строго доказано, что известные типы парадоксов не могут появиться в основных аксиоматических представлениях теории множеств. Проблема обоснования в широком смысле еще не получила признанного раз-

[25] О проблеме надежности содержательной дедукции см.: *Перминов В.Я.* Философия и основания математики. М., 2001. С. 283—287.

решения, и в настоящее время становится все более ясным, что ее решение лежит за пределами чисто логического подхода.

Первоначальное понимание проблемы обоснования было сориентировано преимущественно на логический анализ. Предполагалось, что эта проблема должна быть решена внутри самой математики через самоочевидную редукцию ее содержания к некоторому известному и безупречному основанию. Такая установка исключала существенное вмешательство философии в практику обоснования. Первые программы обоснования математики были в достаточной степени антифилософичными. Там, где философских проблем нельзя было избежать, их решение заменялось некоторооого рода догматическими допущениями типа того, что конструктивное доказательство несомнено достоверно, а геометрическая очевидность не вполне надежна и т. п. Авторы программ обоснования не прилагали особых усилий по уточнению такого рода допущений. Вся ставка была сделана на уточнение собственных оснований математики и необходимых логических средств.

Прямым следствием такого сугубо логического взгляда на проблему обоснования было то, что все возможности обоснования были сведены к реализации трех известных программ — логицизма, интуиционизма и формализма, которые, как казалось, исчерпывали собой все приемлемые подходы к ее разрешению. Это ограничение естественно, если установка на внутреннее обоснование принята как безусловно истинная. Мы можем обосновать математику либо ее редукцией к логике, либо редукцией к арифметике, либо редукцией к метатеории как несомненной части математики, которую Гильберт выделил в соответствии с критерием финитности. Если мы исключаем геометрию из сферы полной надежности, то все сферы аподиктической очевидности, к которым логическая редукция представляется вообще возможной, исчерпаны и других подходов не существует.

Современное состояние философии математики, как уже было сказано, существенно определено положением о невозможности строгого обоснования математики. Для многих философов и математиков эта ситуация явилась поводом для утверждения прямолинейного эмпиризма, отождествляющего математику с опытными науками как в плане природы исходных представлений, так и в плане логики их развития. Задача абсолютного обоснования математической теории объявляется теперь иллюзией и пережитком фундаментализма.

Здесь допускаются по крайней мере две ошибки. Во-первых, из невозможности обоснования непротиворечивости математических теорий никак не следует, что они противоречивы или тяготеют к противоречивости в своем развитии. Из слабости методов в определении некоторого качества, очевидно, нельзя заключать о его отсутствии. Как это ни странно, но философы до сих пор явно склоняются к такой ошибочной логике, истолковывая поражение программ обоснования как свидетельство релятивности математики и ее родства с науками эмпирическими и т. п. Во-вторых, из невозможности строгого обоснования в рамках конкретных программ никак не следует невозможность других подходов, способных осуществить такое обоснование.

Значительную роль в становлении этих заблуждений сыграла, по-видимому, позитивистская дихотомия опыта и логики. С позиций этой дихотомии, если математика не может быть обоснована логически, то она может быть обоснована только в опыте. Это, однако, заблуждение. Отказ от прямолинейных логических редукций должен вести нас не к опыту, а к онтологии, не к скептицизму, а к более глубокому фундаментализму, основанному на идее онтологической истинности и системности.

Мы выяснили, что любая теоретическая система обосновывает сама себя в процессе своего развития и применения. Особенность математической теории состоит в том, что она обосновывает себя абсолютно, она достигает внутренней организации, не подлежащей изменению и обладающей полной логической совместностью. Это значит, что математика всегда была и остается предельно обоснованной наукой. Это обстоятельство является глубинной основой обычного доверия ученых к математическим методам, а также и известного равнодушия к обосновательным проблемам. Они исходят из того, что никакие парадоксы не способны разрушить сложившуюся структуру теории и не могут стать опасными для ее основных утверждений. Рассмотрение системной логики оправдывает эту стихийную веру математиков как рациональную, проистекающую из сущности математического мышления.

В этом плане становится предельно ясной полная несостоятельность понимания парадоксов как кризиса, угрожающего самому существованию математики, которое имело место в начале века. Настроение кризиса ясно выражено в известных словах Гильберта: «Где же тогда искать надежность и истинность, если даже само математическое мышление дает осечку?»[26] В настоящее время мало кто понимает ситуацию столь драматически: сообщество математиков стихийно перешло к другому, более спокойному видению ситуации. Системный анализ дает теоретическое обоснование несостоятельности первоначального страха перед парадоксами. Мы выяснили, что все противоречия зрелой математической теории относятся к ее периферии, к точкам ее роста и в принципе не могут сказаться на ее исторически оправданном фундаменте. С этой точки зрения в значительной мере теряет смысл и само понятие кризиса в основаниях математики. Это понятие в настоящее время имеет преимущественно исторический и психологический смысл: оно отражает восприятие парадоксов математическим сообществом начала XX в.

Изложенное понимание оснований математического мышления устраняет все типы математического релятивизма. Мы, безусловно, отвергаем эмпирический скептицизм в отношении математики, проистекающий из отождествления математических и эмпирических понятий. Регресс в бесконечность — ложная идея, некритически перенесеная в философию математики из теории эмпирического знания. В действительности, каждая математическая теория имеет неразрушимый

[26] *Гильберт Д.* Избранные труды. Т. 1. С. 438.

центр, обладающий абсолютной корректностью содержащихся в нем понятий. Развитие математической теории представляет собой лишь расширение этого центра, но не бесконечное уточнение всего множества своих понятий. Являются несостоятельными, конечно, и все формы логического и психологического релятивизма. Психологическая относительность, имеющая место в наших понятиях и оценках, не противоречит абсолютности познавательных норм, определяющих мышление, и абсолютности структур, определенных на основе универсальной онтологии. Понимание связи первичных математических идеализаций с универсальными категориями мышления устраняет всякую возможность их психологической релятивизации.

Если мы признаем, что каждое математическое доказательство достигает абсолютной надежности, каждая математическая теория неизбежно достигает выявления своей абсолютно надежной базы и что возможны общезначимые критерии, позволяющие утверждать эту надежность в конкретных случаях, то проблему обоснования математики можно считать решенной в смысле полной реабилитации математической строгости и устранения всякого скептицизма в отношении надежности ее оснований. Проблема обоснования математики, несомненно, может быть разрешена в том смысле, что мы можем указать вполне определенные характеристики зрелости математической теории и, следовательно, заключить о невозможности появления в ней глубоких противоречий, разрушающих принципы теории. Это, конечно, не то решение, которое предполагали получить Фреге, Брауэр и Гильберт, но оно тем не менее является достаточным как с точки зрения теоретического понимания математики как строгой науки, так и с точки зрения математической практики.

Решение проблемы обоснования математики в XX в. было существенно затруднено отсутствием должного гносеологического анализа природы математических идеализаций. Надо признать тот факт, что ни одно из существующих философских учений не выработало пока основы для понимания сущности математического мышления. Это относится прежде всего к эмпирической философии математики, которая не имеет адекватного представления о природе математического знания и о действительной основе ее первичных идеализаций. Эмпирическая трактовка математических понятий, рассматривающая их по аналогии с физическими, допускает неустранимую расплывчатость их границ, неправомерно усложняет математическое знание, превращая его из конечного в бесконечное, из абсолютно надежного в неопределенное и относительно надежное. Проблема обоснования математики при этом теряет свой специфический смысл, превращаясь в систематизацию относительных истин, приемлемую для любого типа знания.

Эмпирическая философия математики догматична в том смысле, что, слепо следуя за схемами развития опытного знания, она не обращает внимания на факты истории математики, которые заведомо противоречат этим схемам. Она стремится опровергнуть или скорректировать эти факты в соответствии со своими схемами вместо того, чтобы взять их сами по себе как примеры, требующие объяснения из их собственных оснований. Практика математики показывает наличие очевидностей, не подлежащих сомнению, образующих самый остов математического рассуждения. В противоречии с этой практикой и со всей традиционной философией, которая на протяжении двух тысячелетий отличает аподиктическую интеллектуальную (мысленную) очевидность от очевидности опыта, современные эмпирики настаивают на неизбежной ущербности и корректируемости всякой очевидности. Ту же самую картину мы наблюдаем и в трактовке проблемы противоречия и во многих других случаях. Задача философии в отношении отдельной науки должна состоять прежде всего в понимании специфики этой науки. Основная слабость эмпирической философии математики состоит в том, что она не проясняет этой специфики и даже не приближается к решению этой задачи.

Рационалистическая философия ближе к пониманию природы математики, ибо она с самого начала подчеркивает принципиальное различие математических и опытных наук. Современный рационализм, однако, также крайне неудовлетворителен как с точки зрения своего внутреннего обоснования, так и с точки зрения своей способности быть основанием для философии науки. С нашей точки зрения, основной его недостаток состоит в отсутствии идеи деятельности. Он не понимает практической детерминации универсальных структур сознания, не осознает в должной мере того обстоятельства, что система высших идеализаций сознания определена телеологией мышления, что мир предметов и предметных разграничений создается не опытом и не внутренней активностью сознания, а процессом изменения реальности и что именно эта практическая инстанция обеспечивает восприятие мира как трансцендентного бытия и задает структуры мышления, имеющие безусловное значение для всякого опыта. Эта абстрактная метафизика является для нас существенной, ибо мы не можем понять истоков математических идеализаций, а также их объективности и реальности без уяснения их связи с системой категорий и универсальной нормативной основой мышления. Строгость математики покоится в конечном итоге на интуитивной ясности категориальных различий, которые являются последней инстанцией, определяющей надежность математического мышления.

Рационалистическая философия пока не выработала такой формы априоризма, которая была бы приемлемой для понимания математики. Кант, связав математические истины с категориями пространства и времени, указал в принципе верное направление мышления. Но философия Канта не выявляет природы категорий, а следовательно, и истинной сферы априорного знания. Гуссерль существенно ослабил позицию Канта, поставив априорные формы мышления в зависимость от первичных ассоциаций опыта. Мы не можем углубить теорию априоризма на основе соединения ее с эмпиризмом, какие бы заклинания ни делались при этом относительно непсихологической природы этого соединения. Методологическое значение феноменологии снижается вследствие ее отказа от методов теоретического обоснования. Современный рационализм должен быть теорией, способной объяснить природу и функции априорного знания из общих целей человеческого мышления.

Рассмотренные выше программы обоснования математики были обречены на неудачу во многом вследствие слабости методологических и философских предпосылок, из которых они исходили. Математики начала века считали, что геометрическая очевидность ненадежна, что классическая логика ограничена, что содержательное рассуждение, использующее слова обыденного языка, всегда неопределенно и нуждается в логической экспликации. Вместе с тем некоторые из них утверждали, что исходные математические истины можно понять только как конвенции, что конечная математика более достоверна, чем математика, связанная с понятием бесконечности, и что надежное обоснование математики возможно только как конструктивное или финитное. Если в настоящее время мы продвинулись вперед и в достаточной степени осознали несостоятельность всех этих установок, то это означает, что проблема обоснования математики может быть поставлена сегодня на некоторой принципиально иной основе. Выше были намечены контуры такого понимания проблемы.

С достаточной определенностью можно предполагать, что существенный сдвиг в решении проблемы обоснования математики зависит сегодня не от достижений в логике и в анализе аксиоматических систем, а прежде всего от углубления философии математики, от прояснения наших представлений о природе математического мышления и о допустимых подходах к обоснованию математических теорий. Необходима философия математики, проясняющая действительный статус математического мышления и истоки его надежности. Разумеется, здесь возможны существенно различные подходы. Представляется, однако, несомненным, что исходным пунктом этой новой философии математики должно быть понимание наличия необходимой категориальной (философской по сути) основы всех математических идеализаций и логического оперирования с ними.

Глава 4

ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Социокультурные и философско-методологические предпосылки возникновения и развития теории вероятностей (от Паскаля и Ферма до Бернштейна и Колмогорова)

Внутриматематические предпосылки возникновения теории вероятностей

В историко-математической литературе является общепринятым связывать время возникновения теории вероятностей как науки со второй половиной XVII в.

В письмах, впервые опубликованных в Тулузе в 1697 г., выдающиеся математики XVII в. Паскаль и Ферма при создании новой теории уже неявным образом пользовались такими фундаментальными теоретико-вероятностными представлениями, как зависимость и независимость событий, теоремами сложения и умножения вероятностей (не определяя еще самого понятия «вероятность»). Было введено также и такое важное понятие будущей теории вероятностей как математическое ожидание случайного события (в данном случае выигрыша в игре).

Вот как историю интересующих нас событий описывал почти что ее современник — выдающийся философ и математик Нового времени Г. Лейбниц: «Современные математики приступили к оценке случайностей в связи с азартными играми. Кавалер де Мере, опубликовавший «Agreements» и другие сочинения, человек острого ума, игрок и философ, явился инициатором этого, предложив ряд вопросов об азартных играх, чтобы узнать, как следует разделить ставки, если игра прервана в том или ином положении. Он побудил этим своего друга Паскаля заняться несколько данным вопросом. Вопрос вызвал шум и подал повод Гюйгенсу составить свой трактат об игре в кости. Проблемой заинтересовались другие ученые. Были установлены некоторые принципы, которыми воспользовался также пансионарий де Витт в маленьком рассуждении о пожизненных рентах, вышедшем на голландском языке»[1].

Действительно, еще до опубликования переписки Паскаля и Ферма, примерно в 1656–1657 гг., Гюйгенс, узнавший о том, что такие корифеи новой математики, как Ферма и Паскаль, серьезно заняты задачей на разделение ставки, подключился к этим исследованиям и в 1657 г. опубликовал работу «О расчетах в азартной игре» — первое увидевшее свет сочинение по теории вероятностей. В предисловии к этому изданию можно прочитать следующие примечательные строки: «Чем более трудной является задача определения при помощи рассуждений того, что кажется неопределенным и подчинено *случаю*, тем более *наука*, которая достигает результата, представляется удивительной. Во всяком случае, я полагаю, что при внимательном изучении предмета читатель заметит, что имеет дело не только с игрой, но что здесь *закладываются основы очень интересной и глубокой теории* (курсив наш. — *Авт.*)»[2]. Значение этой небольшой работы Гюйгенса трудно переоценить. И не случайно, что первая часть работы Я. Бернулли «Искусство предположений», появление которой знаменует окончательное становление новой теории, представляет собой перепечатку и тщательный комментарий упомянутой работы Гюйгенса. Но хотя, как и Гюйгенс, «Паскаль и Ферма понимали, что стоят на пороге новой математической дисциплины»[3], следует согласиться со словами А.Н. Колмогорова о том, что их работы «можно рассматривать лишь как предысторию

[1] *Лейбниц Г.* Соч.: В 4 т. Т. 2. М., 1983. С. 478.

[2] Цит. по: *Майстров Л.Е.* Развитие понятия вероятности. М., 1980. С. 56.

[3] *Шейнин О.Б.* Комментарий I// Бернулли Я. О законе больших чисел. М., 1985. С. 85.

теории вероятностей, а настоящая ее история начинается с закона больших чисел Я. Бернулли и найденного вскоре после этого Муавром нормального приближения к биноминальному распределению»[4]. Действительно, именно у Бернулли впервые появляются классическое и статистическое определения вероятности, новые, специфически теоретико-вероятностные рассуждения и методы, в то время как его предшественники при решении интересовавших их задач использовали ранее известные комбинаторные методы.

Таковы вкратце историко-научные факты, подтверждающие вывод о том, что становление теории вероятностей как науки происходило во второй половине XVII в. (основные теоретико-вероятностные результаты были получены Я. Бернулли в 90-х гг. XVII столетия)[5].

Как же можно реконструировать процесс возникновения новой математической теории, о которой в 1654 г. говорил весь Париж?

Шевалье де Мере, известный игрок, а также философ и литератор эпохи Людовика XIV, по дороге в свое имение в Пуату встретил Блеза Паскаля и поставил перед ним две задачи, связанные с азартными играми. С первой из них связана следующая легенда[6]. Согласно ей, де Мере всячески старался разбогатеть при помощи игры в кости и придумывал для этого разные усложненные правила игры. В частности, «он предлагал бросить одну кость четыре раза подряд и бился об заклад, что при этом хотя бы один раз выпадет 6, если же этого не случалось — ни разу не выпадало 6 очков, — то выигрывал его противник. Де Мере предполагал, что он будет чаще выигрывать, чем проигрывать... Действительно, чем больше рыцарь играл, тем больше он выигрывал. Кавалер де Мере был очень доволен и решил, что он открыл верный способ обогащения. Однако постепенно другим игрокам стало ясно, что эта игра для них невыгодна, и они перестали играть с де Мере. Надо

[4] *Колмогоров А.Н.* Предисловие// Бернулли Я. О законе больших чисел. С. 4.

[5] См.: *Юшкевич А.П.* Биография Якоба Бернулли// Бернулли Я. О законе больших чисел. С. 157.

[6] См.: Рассказ о рыцаре де Мере // Знание — сила. 1960. № 2.

было придумывать какие-то новые правила, и де Мере придумал новую игру. Он предложил бросать две кости 24 раза и бился об заклад, что сверху, хотя бы один раз окажутся две пятерки. Но на этот раз рыцарь ошибся... Чем больше он играл, тем больше разорялся и в конце концов сделался нищим...» В основе этой легенды лежит следующий математический парадокс. При четырех бросаниях игральной кости вероятность выпадения шестерки по крайней мере один раз больше половины. В то же время при 24 бросаниях двух костей вероятность выпадения двух пятерок одновременно хотя бы один раз меньше половины. Это не могло не вызывать удивления, поскольку шансы получить одну шестерку в шесть раз больше, чем шансы выпадения двух пятерок, а 24 бросания как раз в 6 раз больше 4 бросаний. Де Мере не мог понять, почему простые и естественные соображения пропорциональности здесь не работают, и просил Паскаля объяснить ему этот парадокс. В ответ Паскаль рассчитал соответствующие вероятности. Поскольку вероятность выпадения шестерки при одном бросании равна 1/6, вероятность ее невыпадения равна 5/6. Поэтому вероятность невыпадения шестерки при четырех бросаниях, т. е. вероятность проигрыша де Мере, равна 5/6 в четвертой степени, что составляет 625/1296. Это число меньше половины, что объясняет более частые победы шевалье. В то же время вероятность выпадения двух пятерок при одном бросании двух костей равна, очевидно, 1/36, вероятность их невыпадения — 35/36. Поэтому, вероятность того, что две пятерки ни разу не выпадут при 24 бросаниях двух костей, равна 35/36 в двадцать четвертой степени. Это число оказывается больше половины, что и объясняет дальнейшие «неудачи» легендарного шевалье. Подчеркнем еще раз, что правильное решение первой задачи де Мере, как и его второй задачи, ставшей главным предметом знаменитой переписки 1654 г. между Паскалем и Ферма, дается на основе применения вероятностных соображений, а не с помощью, так называемого, «правила пропорциональности критических значений», ставшего причиной «роковой ошибки» нашего игрока.

Справедливости ради отметим, что де Мере на самом деле знал решение своей первой задачи, о чем писал сам Паскаль в письме к Ферма от 29 июля 1654 г.[7] О том, как решить вторую задачу, предложенную де Мере Паскалю — задачу о справедливом разделе ставки, — ни де Мере, ни кто-либо другой в то время не знал. Она была решена независимо друг от друга Ферма и Паскалем. Оба рассматривали ее как задачу о вероятностях, или о шансах, как было принято говорить тогда. С трудно скрываемой радостью Паскаль писал Ферма, обнаружив, что хотя способ рассуждения его адресата не совпадал с предложенным им решением, результат, полученный обоими, был одним и тем же: «Я вижу, что истина одинакова и в Тулузе и в Париже» (Ферма жил в Тулузе, а Паскаль в Париже). Неудивительно поэтому, что шевалье де Мере был преисполнен гордости за то, что его беседы с Паскалем способствовали возникновению новой науки — теории вероятностей, о чем свидетельствует одно из его писем к Паскалю[8].

Паскаль, как, впрочем, и Ферма, делил ставку пропорционально вероятности выигрыша при продолжении игры. Как отмечает Л.Е. Майстров, «метод решения Паскаля оригинален, но его трудно применить к более сложным случаям»[9].

Метод решения Ферма проиллюстрируем на следующем примере. Пусть два игрока договорились играть до 6 побед в игру, в каждой из партий которой шансы победить у обоих одинаковы. Игра была прервана при счете 5:3 в пользу первого игрока. Для того чтобы справедливо разделить приз, полагал Ферма, «продолжим игру тремя фиктивными партиями, даже если некоторые из них окажутся лишними (т. е. один из игроков уже выиграл приз). Такое продолжение делает все $2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ возможных исходов равновероятными. Поскольку только при одном исходе второй игрок получа-

[7] См.: *Майстров Л.Е.* Теория вероятностей: Исторический очерк. М., 1967. С. 50.

[8] См. там же.

[9] Там же. С. 53.

ет приз (т. е. когда он выигрывает все три партии), а в остальных случаях побеждает первый игрок, справедливым является отношение 7:1[10]. Поразительно, но гениальную и вместе с тем такую естественную идею Ферма о фиктивном продолжении игры, более чем через 300 лет, в 1977 г. С. Андерсон использовал для доказательства теоремы о том, что «игрок, который подает первым, имеет одинаковые шансы выиграть в N партиях раньше своего соперника независимо от того, подают ли игроки поочередно или подает тот, кто выигрывает предыдущую партию»[11].

Исходя из вышеизложенного, можно высказать гипотезу о том, что задачи, решение которых в XVII в. привело к возникновению теории вероятностей, в условиях отсутствия соответствующих гносеологических предпосылок не сыграли той роли, которую им предстояло сыграть позднее. Более того, гносеологический пласт философско-методологических представлений о случайном в Античности и в Средние века лишь препятствовал возникновению науки о случайном — теории вероятностей. Для обоснования этой гипотезы вновь обратимся к анализу философско-методологических представлений о случайности.

Мыслители Ренессанса в принципе не порывают с античным представлением о дихотомии «знание — мнение». Согласно Хэйкингу, физики эпохи Возрождения «все еще были привержены идее знания как абсолютно достоверного знания. Мы не найдем в их деятельности ни малейшей потребности в серьезном использовании вероятностных понятий»[12]. Однако наиболее влиятельной силой в интеллектуальной жизни эпохи Возрождения было гуманистическое движение, представителей которого интересовали прежде всего проблемы этики, истории, литературы и искусства. С одной стороны, находясь еще в рамках указанной дихотомии и, с другой стороны, резко критикуя философию и ес-

[10] См.: *Секей Г.* Парадоксы в теории вероятностей и математической статистике. М., 1990. С. 21.

[11] Там же.

[12] *Hacking I.* The imergence of Probability. 1975. P. 23.

тествознание за присущие им, по их мнению, формализм и отчужденность от человека, его повседневных забот и проблем; мыслители-гуманисты еще отчетливее подчеркивали противопоставление философии и риторики. При этом, как указывает Б. Шапиро, рассматривая сферу повседневного человеческого опыта, мыслители Ренессанса, опираясь на образцы античной риторики, существенно использовали вероятностные, правдоподобные рассуждения и соответствующую терминологию[13]. И как только (во второй половине XV в.) некоторые гуманисты обратились к философии, изучая античных скептиков, атомистов, Платона и эпикурейцев, сфера применения правдоподобных рассуждений стала постепенно расширяться. «Стена, которая столетиями отделяла философию от риторики, разум от опыта, достоверность от вероятности, стала разрушаться еще быстрее, когда некоторые гуманисты начали развивать комбинированные искусства дискурса, в которые в новом ранжировании включались элементы логики, диалектики и риторики. Эти попытки, среди которых наибольшей известностью пользуется попытка Рамуса, соединяли некогда разделенные и различенные способы мышления, когда аристотелевская философия и схоластическая логика теряли былой престиж. В этом процессе теряли четкие очертания академические предметы и дисциплины, разрушались связи принадлежности к риторике или философии»[14].

В условиях разрушения социальной основы аристотелевско-схоластической традиции в философии и естествознании особенно быстро происходило возрождение античного скептицизма. Первоначально, однако, влияние «новых пирроников» (Санкез, Боден и другие) было заметно прежде всего в области философско-теологических споров. «Скептицизм, — отмечает Г. Роджерс, — был излюбленным оружием иезуитов. Их аргумент состоял в том, что утверждения, относящиеся к библейскому знанию (центральные для

---

[13] См.: *Shapiro B.S.* Probability and certainty in seventeenth century England. Princenton N. Y., 1983. P. 7.

[14] Ibid. P. 8.

позиции протестантов), не могут быть подтверждены очевидными свидетельствами»[15]. В свою очередь, протестанты, указывая на уязвимость католической традиции с точки зрения того же скептицизма, настаивали на отказе от рассуждений, в которых отсутствуют понятия нарождающейся вероятностной гносеологии.

Вероятностная гносеология философов Нового времени и ее влияние на возникновение теории вероятностей

Представляется, что именно иезуиты впервые начали разрабатывать концепцию правдоподобия в качестве фундамента для принятия решений в процессе человеческой деятельности, концепцию, основанную на вере в авторитет традиции и высшего духовенства[16]. Согласно Хэйкингу, первоначальный смысл слов «вероятность, правдоподобие» (probabilitas) в XVI—XVII вв. как раз означал «поддержку со стороны уважаемых людей»[17], что соответствовало изысканиям католических теологов-моралистов. Протестантские моралисты, отвергая католическую точку зрения, считали, что принятие решений в сфере человеческих взаимоотношений требует оценки вероятностей на основе наиболее полной информации о существе дела и личной ответственности («хорошо информированной совести»)[18]. Забегая несколько вперед, отметим, что позднее Лейбниц также подверг резкой критике иезуитскую концепцию правдоподобия. «Большинство казуистов, писавших по вопросу о вероятности, — указывал Лейбниц, — даже не поняли природы этой вероятности, основывая ее вслед за Аристотелем на авторитете, между тем как ее следовало бы основывать на правдоподобии, так как авторитет составляет лишь часть оснований, дающих правдоподобие»[19]. При этом

[15] *Rogers G.A.* The basis of belief: Philosophy, science and religion in seventeenth century England//History of Europ. ideas. Oxford, 1985. Vol. 6. N 1. P. 20.

[16] См.: *Wood Th.* English casuistical devinity during the seventeenth century. L., 1952. P. 68—74.

[17] *Hacking I.* Op. cit. P. 22—23.

[18] См.: *Wood Th.* Op. cit. P. 68.

[19] *Лейбниц Г.* Соч.: В 4 т. Т. 2. М., 1983. С. 207.

Лейбниц отличает вероятность (probabilite) от ее содержательной основы, которую он называл правдоподобием (vraisemblance). «Вероятность, — подчеркивал Лейбниц, указывая на недостаточность точки зрения моралистов-католиков, — основывается или на сообразности с тем, что мы знаем, или на свидетельстве тех, кто это знает»[20].

Таким образом, используя различение Лейбница, можно зафиксировать, что философы-моралисты, применяя вероятностные (правдоподобные) соображения в области принятия решений в ситуациях, когда не все относящиеся к делу факты известны, впервые в европейской культуре XVI—XVII вв. стали разрабатывать теорию правдоподобия. Это обстоятельство является чрезвычайно важным для понимания побудительных мотивов постоянного обращения представителей классической теории вероятностей, таких как Н. Бернулли, Д. Бернулли, Лаплас, Пуассон, к так называемым «моральным» применениям создаваемой ими теории.

Становление теории правдоподобия, однако, поставило в повестку дня разработку исчисления вероятностей, на основе которого можно было бы, как представлялось мыслителям XVI—XVII вв., с достаточной точностью обосновать выбор принимаемого решения в условиях неопределенности. Но философы-моралисты не могли заложить основы математической теории вероятностей не столько по причине недостаточной математической подготовленности, сколько в силу того, что, как показало дальнейшее развитие науки, разработка исчисления вероятностей применительно к «моральной» проблематике чрезвычайно затруднена из-за наличия многочисленных особенностей, присущих сфере человеческих взаимоотношений.

Ученые и философы XVI—XVII вв., закладывая основы нового естествознания на развалинах аристотелевско-схоластического миросозерцания, вынуждены были считаться со скептическим сомнением в возможности истинного познания, сыгравшим ведущую роль в разрушении антично-средневековой концепции совершенного, неизменного Космоса. Признавая и, более того, опи-

[20] *Лейбниц Г.* Соч.: В 4 т. Т. 2. М., 1983. С. 470.

раясь на скептическую критику перипатетизма, творцы новой науки стремились построить такую теорию познания, в рамках которой опытное естествознание было бы неуязвимо перед разъедающим сомнением «новых пирроников». Переходным этапом на пути становления новой гносеологической концепции была философская система Ф. Бэкона. «Те, — писал Бэкон о сторонниках аристотелевско-схоластической традиции, — кто осмелился говорить о природе как об исследованном уже предмете, делали ли они это из самоуверенности или тщеславия и привычки поучать, нанесли величайший ущерб философии и наукам... Те же, кто вступил на противоположный путь, — добавляет Бэкон, имея в виду скептиков, — и утверждал, что решительно ничего нельзя познать... приводили в пользу этого доводы, которыми, конечно, нельзя пренебречь»[21]. И далее, уточняя свою позицию по отношению к скептицизму, Бэкон заявляет: «Те просто утверждают, что ничто не может быть познано. Мы же утверждаем, что в природе тем путем, которым ныне пользуются, не многое может быть познано. Те в дальнейшем рушат достоверность разума и чувств, мы же отыскиваем и доставляем им средства помощи»[22].

Достижение абсолютно достоверного знания «форм» связывается Бэконом с постепенной трансляцией данных опыта из области мнения посредством разработанных им процедур индуктивного метода. Исследовательская программа Бэкона стала программой созданного в 1660 г. Британского Королевского общества. Эта программа сыграла выдающуюся роль в развитии науки Нового времени. Несмотря на серьезные доводы скептиков, которые отрицали, пользуясь словами самого Бэкона, «достоверность человеческого знания и восприятия» и утверждали, «что с их помощью можно достигнуть лишь правдоподобия и вероятности... и тем самым в корне подрывали всякое знание»[23] (последнее совершенно справедливо в условиях еще не преодоленной дихотомии «знание —

---

[21] *Бэкон Ф.* Соч.: В 2 т. Т. 2. М., 1972. С. 7.

[22] Там же. С. 18.

[23] Там же. С. 298.

мнение»), Бэкону удалось увлечь своих последователей оптимистическими перспективами, благодаря чему усилиями членов Королевского общества был собран огромный фактический материал и наработан методологический и методический инструментарий, столь необходимый для дальнейшего развития.

Однако на пути реализации указанной программы члены Королевского общества столкнулись со значительными трудностями, поэтому со временем «бэконовский оптимизм угасал, и вместе с ним исчезала и уверенность в том, что сбор данных и их анализ способны дать в результате общие аксиомы или формы природы»[24]. «В процессе критической переоценки понятия достоверности, — указывает Шапиро, — английские ученые-практики XVII века в значительной степени потеряли надежду достичь в своих исследованиях статуса «знания» (науки) в традиционном смысле... По ходу ее реализации исследовательская программа Бэкона, как и его философия науки... обосновывалась... на существенно-вероятностных концепциях естественной науки»[25].

Оставив статус абсолютной достоверности за математикой и некоторыми метафизическими принципами, ученые и философы Нового времени начали разрабатывать вероятностную гносеологию для естественнонаучного познания, в рамках которой теоретические концепции получают статус более или менее вероятных гипотез, в лучшем случае достигая так называемой «моральной достоверности». (Термин «моральная достоверность» пришел в философию XVII в. из теологии и означал максимальное состояние личной убежденности человека в истинности того или иного утверждения.)

Надо отметить, что на становление вероятностных аспектов гносеологии членов Королевского общества существенное влияние оказали философско-методологические воззрения Декарта[26]. В свете принципиаль-

[24] *Shapiro B.A.* Op. cit. P. 16.

[25] Ibid.

[26] См.: *Lauden L.* The clock methaphor and probabilism: The impact of Decartes in English methodological thought. 1650—1665. Annals of science. Vol. 22. N 1. L., 1966. P. 93—104.

ных отличий декартовского рационализма от английского эмпиризма сам факт упомянутого влияния как нельзя лучше характеризует торжество вероятностной гносеологии XVII — начала XVIII в. Кроме того, исторически сложилось так, что именно через Декарта вероятностная гносеология XVII в. оказала стимулирующее влияние на становление математической теории вероятностей.

Борясь, с одной стороны, против догматизма аристотелевско-схоластической традиции, а с другой — против разрушающих саму возможность существования науки нападок представителей новой волны скептицизма, Декарт создал удивительно плодотворную и жизнеспособную гипотетико-вероятностную рационалистическую гносеологию. Гипотетизм Декарта неотделим от его принципа радикального сомнения. «Я все, о чем буду писать далее, предлагаю лишь как гипотезу, быть может, и весьма отдаленную от истины»[27], — писал он, имея в виду свою физику. Декарт считал, что у Бога имеется бесконечно много способов создания вещей, а человеческий разум не настолько совершенен, чтобы познать с абсолютной достоверностью, какой способ был выбран Богом на самом деле. Человеческое познание вынуждено довольствоваться более или менее правдоподобными гипотезами[28].

Согласно Декарту абсолютно достоверное знание возможно лишь о том, что полностью подчинено сознанию. Это — знание, удовлетворяющее критериям ясности и отчетливости для разума и ограниченное пределами математики (в частности, созданной Декартом аналитической геометрии) и метафизическими истинами типа cogito ergo sum. Физический мир, однако, недоступен для абсолютно достоверного познания[29].

Проблемы сравнения гипотез по их большей или меньшей вероятности, оценки вероятности гипотезы, полученной на основе соединения или согласования двух или нескольких вероятных гипотез, численной

---

[27] *Декарт Р.* Избр. произведения. М., 1950. С. 17.
[28] См. там же. С. 540—541.
[29] См. там же. С. 541.

оценки вероятности морально достоверной гипотезы, поставленные в связи со становлением новой, вероятностной гносеологии, настоятельно требовали создания, с одной стороны, соответствующего математического аппарата для необходимых вычислений и, с другой стороны, построения основ новой, вероятностной логики научного познания. Необходимость создания вероятностной логики вскоре была зафиксирована Лейбницем, также испытавшим существенное влияние картезианства. «Я уже не раз говорил, — писал Лейбниц в «Новых опытах о человеческом разумении...», — что нужен новый раздел логики, который занимался бы степенями вероятности, так как Аристотель в своей «Топике» ничего не дал по этому вопросу. Он удовольствовался приведением в известный порядок некоторых ходячих, распределенных по общим местам правил, которые могут пригодиться для пополнения и упражнения речи, но он не дал нам необходимого критерия для взвешивания шансов и для составления на основании их твердого суждения»[30].

Таким образом, для создания вероятностной логики оказалось необходимым возникновение математической науки об «оценке случайностей», или исчисления (теории) вероятностей. При этом просто и ясно сформулированные, достаточно содержательные (в свете целей исчисления вероятностей) задачи, связанные с азартными играми, стали основой становления новой теории.

Напомним, что задачи о разделе ставки в азартных играх не были новыми для XVII в., однако ранее, вплоть до Паскаля, Ферма и Гюйгенса, при попытках их решения вероятностные соображения фактически не использовались. Примечательно также, что, говоря о необходимости создания вероятностной логики, Лейбниц отчетливо осознает, что, казалось бы, представляющие исключительно частный интерес исследования Ферма, Паскаля и Гюйгенса об азартных играх являются существенным вкладом в решение поставленной им задачи. «Было бы хорошо, — пишет он, — чтобы тот,

[30] *Лейбниц Г.В.* Соч.: В 4 т. Т. 2. М., 1983. С. 479.

кто займется этим вопросом, продолжил исследования об азартных играх»[31].

У нас нет достаточных оснований говорить о влиянии гносеологии вероятностного характера на Ферма, хотя сам факт сотрудничества двух выдающихся математиков — Ферма и Декарта (последний из которых был одним из творцов новой гносеологии) — позволяет высказать подобное предположение. Что касается Паскаля, то такого рода предположение имеет куда более серьезные основания.

Паскаль, как и многие другие философы и ученые XVII в., хорошо понимает всю серьезность аргументов скептицизма. «Учение Пиррона, — пишет он, — укрепляют не столько его последователи, сколь противники, ибо бессилие людского разумения куда очевиднее у тех, кто не подозревает о нем, чем у тех, кто его сознает»[32]. Паскаль согласен с картезианцами в том, что создание новой опытной науки может быть обеспечено лишь в рамках вероятностной гносеологии, отказывающейся от претензии на обоснование знания в смысле episteme и рассматривающей прогресс познания в переходе от менее вероятных к более вероятным гипотезам с целью достичь уровня моральной достоверности.

Известно, что Паскаль принимал участие в написании учебника по логике, основными авторами которого были картезианцы Антуан Арно и Пьер Николь («Логика, или Искусство мыслить», впервые издан в Париже в 1662 г.[33] В четвертой части этой работы, известной также под именем «Логики Пор-Рояля»[34], содержится изложение вероятностных элементов картезианской гносеологии, рассматривается понятие моральной достоверности, даются примеры применения апостериорных вероятностей и т. п. В этой же ча-

---

[31] *Лейбниц Г.В.* Соч.: В 4 т. Т. 2. М., 1983. С. 479.

[32] *Паскаль Б.* Мысли. М., 1994. С. 356.

[33] *Arnauld P., Nicole P.* La logique on l'art de pensee. Paris, 1662; Paris, 1877.

[34] Один из авторов — А. Арно, известный во Франции как «Великий Арно», был аббатом общины монастыря Пор-Рояль.

сти помещено произведение Паскаля «О геометрическом гении»[35].

Таким образом, близость Паскаля авторам картезианского учебника по логике вряд ли может вызывать сомнения в том, что он был обстоятельно знаком с основами вероятностной гносеологии, стимулировавшей его интерес в области становящегося исчисления вероятностей.

К сожалению, из-за отсутствия соответствующих высказываний затруднена реконструкция онтологических представлений о природе случайного как Ферма, так и Паскаля. Нам известно лишь одно высказывание Паскаля, вряд ли, однако, дающее основания для определенных выводов. В одном из писем Паскаль, излагая Ферма свой метод решения задачи о разделе ставки, пишет: «Если же игроки не намерены рисковать на эту партию и хотят произвести раздел, то первый должен сказать: «Я имею 32 пистоля верных, ибо в случае проигрыша я их также получил бы, но остальные 32 пистоля могут быть получены либо мной, либо Вами, *случайности равны*... (курсив наш. — *Авт.*)»[36].

Онтологические представления Гюйгенса более выражены. Так, характеризуя задачу о разделе ставки как задачу «определения при помощи рассуждений того, что *кажется* неопределенным и подчинено случаю»[37], Гюйгенс далее существенно проясняет свою позицию, говоря об азартных играх как об «играх, основанных на чистом случае»[38].

Можно высказать предположение о том, что в отличие от Лапласа Паскаль и Гюйгенс, имея вполне ясную гносеологическую концепцию вероятного знания, еще не полностью определили свои позиции в сфере онтологических представлений о случайном. При этом следует, по-видимому, отметить, что и Пас-

---

[35] *Arnauld P., Nicole P.* La logique on l'art de pensee. Paris, 1662; Paris, 1877.

[36] Цит. по: *Хотимский В.* Исторические корни теории вероятностей//Под знаменем марксизма. 1936. № 1. С. 144.

[37] Цит. по: *Майстров Л.Е.* Развитие понятия вероятности. С. 57.

[38] Там же.

каль, и Гюйгенс склонялись к точке зрения, признающей объективное существование случайного, по крайней мере в области азартных игр.

Влияние философии Декарта на формирование философско-методологических взглядов Гюйгенса является неоспоримым фактом. Так, Л. Элзинга, пишет, что труды Декарта «сильно повлияли на мировоззрение Гюйгенса в критический период его становления...»[39] При этом пробабилизм Гюйгенса более радикален, чем вероятностная гносеология Декарта, настаивавшего все-таки на неизменности и универсальности основных постулатов физической теории, статус которых мог быть выше морально достоверных утверждений. Последовательно продолжая пробабилизм Декарта, Гюйгенс развивает концепцию временного, гипотетического характера даже базисных теоретических постулатов, подлежащих в дальнейшем ревизии или модификации. Гюйгенс проводит принципиальное различие между аксиомами геометрии, обладающими абсолютной, математической достоверностью, и принципами физики, подлежащими эмпирической проверке путем сопоставления выводимых из них следствий с опытом. Эти взгляды Гюйгенса наиболее ярко изложены в «Трактате о свете», где он утверждал, что даже самые фундаментальные физические принципы могут быть более или менее правдоподобными, никогда не достигая статуса окончательной истины (абсолютной достоверности)[40]. И неудивительно, что Гюйгенс, занимаясь задачами, связанными с азартными играми, сумел увидеть, что «здесь закладываются основы очень интересной и глубокой теории»[41], позднее получившей название теории вероятностей.

Якоб Бернулли: решающий шаг

Если Х. Гюйгенс был первым ученым, возвестившим возникновение новой теории, то Я. Бернулли пред-

---

[39] *Elzinga A.* Christian Hygens' theory of research. Jerusalem; Amsterdam, 1980. P. 285.

[40] Ibid. P. 313.

[41] Цит. по: *Майстров Л.Е.* Развитие понятия вероятности. С. 56.

ложил первое ее название «Искусство предположений» («Ars conjectandi»). Это название само по себе еще раз подчеркивает, что возникновение и первоначальное развитие теории вероятностей в значительной мере стимулировалось вероятностной гносеологией Нового времени.

Случаю было угодно, чтобы автор вошедшей во все руководства по теории вероятностей теоремы Бернулли родился в Базеле именно в 1654 г., на который приходится знаменитая переписка Ферма и Паскаля по поводу задачи в разделе ставки в азартной игре. Среди множества биографических подробностей из жизни Бернулли для нас представляет интерес, что в «1676—1682 годах он совершил ряд поездок в Женеву, Францию (где прожил два года), Голландию и Англию, заведя при этом знакомство с такими выдающимися учеными, как Я. Гудде, Р. Бойль, Р. Гук, а также познакомившись с философскими воззрениями и научными концепциями Декарта...»[42] Отметим также длительное и плодотворное сотрудничество Бернулли и Лейбница в области разработки основ дифференциального и интегрального исчисления. Богатая переписка Лейбница и Бернулли содержит ряд страниц, посвященных проблемам теории вероятностей. В частности, в 1703 г. автор «Новых опытов о человеческом разумении» сообщал своему адресату, что ему «стало известно о работе Якоба Бернулли над рукописью «Искусства предположений» и что он, Лейбниц, надеется, что какой-нибудь крупный математик (например, сам Бернулли) продолжит исследование азартных игр»[43]. В лице Бернулли Лейбниц увидел ученого, способного значительно продвинуть вперед реализацию его мечты о построении вероятностной логики.

Что же касается профессионального интереса Бернулли к теоретико-вероятностным вопросам, то он возник, по-видимому, под влиянием работы Гюйгенса

---

[42] *Юшкевич А.П.* Биография Якоба Бернулли//Бернулли Я. О законе больших чисел. С. 157.

[43] *Шейнин О.Б.* Комментарий 1//Бернулли Я. О законе больших чисел. С. 88.

«О расчетах в азартной игре». И произошло это не позднее 1684 г.[44] К этому времени вероятностные элементы гносеологии Декарта, Лейбница, английского эмпиризма стали неотъемлемой частью философско-методологических взглядов автора «Искусства предположений».

Основополагающая работа Бернулли состоит из четырех частей: «Искусства предположений, часть первая, содержащая трактат Гюйгенса о подсчете шансов при игре в кости с примечаниями Якоба Бернулли»; «Искусства предположений, часть вторая, содержащая учение о перестановках и сочетаниях»; «Искусства предположений, часть третья, объясняющая применение вышеизложенного учения при различных жеребьевках и играх в кости»; «Искусства предположений, часть четвертая излагающая использование и применение предшествующего учения в гражданских, моральных и экономических делах»[45].

И сам Бернулли, и его современники и последователи выделяли как особо ценную часть работы ее последнюю, четвертую часть, которая содержит формулировку и доказательство так называемой теоремы Бернулли — закона больших чисел. С другой стороны, в первых главах четвертой части Бернулли специально излагает некоторые общие соображения относительно случайного, правдоподобного и вероятного, значительно облегчая, таким образом, реконструкцию его философско-методологических представлений.

Первым понятием, которое анализирует Бернулли, является понятие достоверности. «Достоверность какой-либо вещи, — пишет Я. Бернулли, — рассматривается или объективно и сама по себе обозначает не что иное, как действительное ее существование в настоящем или будущем; или субъективно, в зависимости от нас, и заключается в степени нашего знания о существовании»[46]. Уже здесь Бернулли достаточно

[44] См.: *Юшкевич А.П.* Николай Бернулли и издание «Искусства предположений»//Теория вероятностей и ее применение. 1986. Т. XXXI. № 2. С. 335.

[45] Цит. по: *Шейнин О.Б.* Комментарий 1. С. 32.

[46] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 23.

четко формулирует свои онтологические представления: «Все, что под Солнцем существует или возникает, — прошедшее, настоящее или будущее, — само по себе и объективно всегда имеет высшую степень достоверности»[47]. Относительно прошедшего и настоящего, считает Бернулли, это следует из самого существования вещей или событий. Что касается будущего, то, отрицая объективное существование случайного, Бернулли ссылается не только и не столько на «неизбежную необходимость», сколько на «силу божественного предвидения, или предопределения... ибо, если не наверное случится то, чему определенно случиться, то непонятно, как может остаться непоколебленной хвала всеведению и всемогуществу величайшего Творца»[48]. При этом Бернулли сознает существование некоторой проблемной ситуации, заявляя: «Каким образом, однако, эта достоверность будущего может быть согласована со случайностью или свободой вторичных причин, — об этом пусть спорят другие; мы же не будем касаться чуждого нашим целям»[49]. Как считает О.Б. Шейнин, фиксируя проблему, Бернулли не обсуждает ее из-за нежелания вторгаться в область теологии[50].

Несколько далее, определив необходимость как то, «что не может не быть в настоящем, будущем или прошедшем»[51], и приведя ряд примеров, Бернулли переходит к анализу понятия случайного.

«Случайное (как свободное, зависящее от произвола разумного создания, так и случайное, зависящее от судьбы или случая) есть то, что может быть или не быть в настоящем, прошедшем или будущем, — понятно, вследствие сил скрытых, не ближайших. Ибо и случайность не всегда исключает всякую необходимость»[52]. Данное оп-

---

[47] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 23.

[48] Там же.

[49] Там же.

[50] См.: *Шейнин О.Б.* Примечания к части четвертой сочинения Я. Бернулли «Искусство предположений»//Бернулли Я. О законе больших чисел. С. 75.

[51] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 25.

[52] Там же.

ределение при буквальном анализе принципиально не отрицает объективность случая. Действительно, если «случайность не всегда исключает всякую необходимость», как пишет Бернулли, то, следовательно, бывает и так, что случайность исключает необходимость, т. е. существует объективно (надо отметить, что Бернулли, как и многие его последователи, рассматривает случайное и необходимое как полярные, исключающие друг друга категории). Однако приводимые далее примеры, проясняющие позицию Бернулли, внушают исследователю представление о том, что автор «Искусства предположений» является одним из предшественников так называемого лапласовского детерминизма. Так, Бернулли принципиально отождествляет в рамках рассматриваемой проблемы падение игральной кости и атмосферные явления. Подобно тому, считает Бернулли, как при данном положении кости, ее начальной скорости, расстоянии до места падения результат бросания однозначно определен, «равным образом при данном составе воздуха и данных массах, положениях, направлениях, скоростях ветров, паров и облаков, а также механических законах, по которым все это взаимодействует, завтрашняя погода не может быть иной, чем та, которая на самом деле должна быть. Так что эти явления из своих ближайших причин следуют с неменьшей необходимостью, чем затмения — из движения светил»[53].

Далее он отмечает, что кажущееся одному и в одно время случайным (подобно затмениям до открытия законов астрономии), «другому (и даже тому же самому) и в другое время после познания причин представляется необходимым. Так что случайность главным образом зависит от нашего знания, поскольку мы не видим никакого противоречия небытию события теперь или в будущем, хотя здесь и теперь, в силу ближайшей причины, нам не известной, оно или осуществляется с необходимостью, или должно осуществиться»[54].

Говоря о зависимости случайности от нашего знания, Бернулли употребляет выражение «главным об-

[53] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 25.

[54] Там же. С. 25.

разом», допуская, если следовать логике высказывания, существование случайности, независимой от уровня наших знаний. О какой же случайности говорит Бернулли?

К сожалению, замечания Бернулли о случайном как «свободном, зависящем от произвола разумного создания», или от судьбы, или случая не дают достаточных оснований для определенных выводов. Очевидно, однако, что он вряд ли согласился бы с категоричным, чисто гносеологическим определением своего современника Лейбница: «Случайные вещи — это те, полное доказательство которых превосходит всякий человеческий разум»[55].

При всей сложности выяснения причин несколько неопределенной позиции Бернулли по проблеме объективности случайного можно высказать более или менее правдоподобную гипотезу, заключающуюся в том, что колебания Бернулли были обусловлены некоторым влиянием на него так называемой «теологии воли», с которой он мог познакомиться в Англии, общаясь с такими учеными, как Гук и Бойль, разделявшими (наряду с Ньютоном, Локком и другими учеными и философами) эту волюнтаристскую концепцию отношения Бога и мира.

Краткую, но емкую характеристику концепции теологии воли дает Ньютон в своей «Оптике»: «Части мира, — писал Ньютон, — его (Бога. — *Авт.*) создания, ему подчиненные и служащую его воле... Можно допустить, что Бог может создавать частицы материи различных размеров и фигур, в различных пропорциях к пространству и, может быть, различных плотностей и сил и, таким образом, может изменять законы и создавать миры различных видов в различных частях Вселенной»[56].

Концепция «теологии воли» могла привлечь Бернулли прежде всего тем, что предоставляла дополнительные аргументы для принятия принципиально вероятностной гносеологии, стимулировавшей развитие теории вероят-

---

[55] Цит. по: *Шейнин О.Б.* Комментарий 1. С. 85.

[56] *Ньютон И.* Оптика. М.; Л., 1923. С. 313–314.

ностей. Очень показательны с этой точки зрения следующие слова Локка: «Я склонен думать, что как бы далеко человеческое рвение ни продвинуло вперед полезное на практике и основанное на опыте познание физических тел, их научное познание всегда будет за пределами нашего разума... В этих вопросах мы не должны претендовать на достоверность и доказательность...»[57] При этом, согласно Локку, «случайность познания не должна вести к отчаянию. Она просто отражает случайный характер связи между Богом и человеком»[58].

Гносеологический срез философско-методологических представлений Бернулли может быть в отличие от онтологического реконструирован более однозначно. Основу вероятностной гносеологии Бернулли составляет классификация видов знания по степеням вероятности. При этом понятие «вероятность» определяется через определенное ранее понятие «достоверность», понимаемое теперь не в онтологическом, а в гносеологическом смысле. «Достоверность, — пишет Бернулли, — рассматриваемая по отношению к нам, не для всего одна и та же, но многообразно изменяется, бывая то большей, то меньшей. То, о чем по откровению, разуму, чувственным восприятиям, опыту, непосредственному наблюдению... или иначе известно, что в его существовании или осуществлении в будущем никак нельзя сомневаться, обладает высшей и безусловной достоверностью. Все другое получает в нашем уме менее совершенную оценку достоверности, большую или меньшую в зависимости от того, более или менее вероятностей, благоприятствующих чему-либо быть в настоящем, будущем и прошедшем»[59]. И далее Бернулли определяет вероятность как степень достоверности, которая отличается от последней как часть от целого. «Именно, — поясняет ученый, — если полная достоверность, обозначаемая нами буквой a или единицей 1, будет, для примера, предположена состо-

---

[57] *Локк Дж.* Избр. филос. произведения: В 2 т. Т. 1. М., 1960. С. 543.

[58] *Rogers G.A.* Op. cit. P. 233.

[59] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 24.

ящей из пяти вероятностей, как бы частей, из которых три благоприятствуют существованию или осуществлению какого-либо события, остальные же не благоприятствуют, то будет говориться, что это событие имеет 3/5 а, или 3/5 достоверности»[60].

Фактически перед нами первое в истории научное определение понятия вероятности, которое позднее будут называть классическим, или определением вероятности через равновозможность (Бернулли подразумевает равновозможность случаев). Данное определение можно трактовать также как первое научное определение субъективной вероятности, так как Бернулли, склоняясь к отрицанию объективности случая, утверждает, что вероятность относится не к вещи самой по себе, а к нашему знанию о ней. Но, с другой стороны, это определение относительно независимо от онтологических представлений Бернулли, ибо если равновозможность в исследуемой системе событий имеет объективные основания (как, например, в случае симметричной монеты или правильного кубика), то классическое определение носит объективный характер. Более того, как указывает Шейнин, сам Бернулли в одной из дневниковых записей 1685—1686 гг. говорит «о вероятности как о доле уверенности в контексте задачи о вероятности одному человеку пережить другого, т. е. в связи с объективными вероятностями»[61]. Последнее подтверждает вывод о нечеткости онтологической позиции Бернулли.

Сам Бернулли следующим образом подчеркивает связь между вероятностной гносеологией и понятием вероятности в следующих словах: «Делать о какой-либо вещи предположения — все равно что измерять ее вероятность»[62]. Эта гносеологическая позиция Бернулли отражала господствующие в Новое время философские представления. Для того чтобы убедиться в этом, достаточно привести следующий отрывок из работы Лейбница «О мудрости», относящейся, по-видимому, к началу

[60] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 24.
[61] *Шейнин О.Б.* Комментарий 1. С. 96.
[62] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 27.

70-х гг. XVII в. (т. е. написанной гораздо раньше обращения Бернулли к вероятностной проблематике). «Истинным, — писал Лейбниц, — следует всегда признавать лишь столь очевидное, в чем невозможно было бы найти ничего, что давало бы какой-либо повод для сомнения. Вот почему хорошо в начале таких изысканий вообразить себе, что ты заинтересован придерживаться обратного, ибо такой прием смог бы побудить тебя найти нечто основательное для обнаружения его несостоятельности; ведь надо избегать предрассудков и не приписывать вещам того, чего они в себе не содержат. *Но никогда не следует упорствовать.* Если нет возможности достичь такой уверенности, приходится довольствоваться вероятностью в ожидании большей осведомленности. Однако следует различать степени вероятности и следует помнить о том, что на всем, что нами выводится из лишь вероятного принципа, лежит отпечаток несовершенства его источника, в особенности когда приходится предполагать несколько вероятностей, чтобы прийти к заключению: ведь оно становится еще менее достоверным, чем любая вероятность, служащая для нее основой»[63]. Примечательно, что в последних словах Лейбниц фактически говорит о правиле умножения вероятностей. А в одной из рукописей 1678 г., содержание которой Лейбниц описывал в своих письмах, он определяет вероятность как степень возможного.

В своей работе Бернулли пытается классифицировать события (точнее наши гипотезы о событиях) по степеням их вероятности, соотнося научное понимание проблем с точкой зрения здравого смысла. Интуитивно, пользуясь обычным словоупотреблением, мы можем отличить, скажем, невозможные события от вероятных, а последние — от практически достоверных. Однако для того чтобы в наших суждениях или действиях на основе теоретико-вероятностных выводов «мы могли бы всегда выбирать или следовать тому, что будет найдено лучшим, более удовлетворительным: спокойным и разумным»[64], необходимо дать научную структури-

[63] *Лейбниц Г.В.* Соч.: В 4 т. Т. 3. М., 1984. С. 97.

[64] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 27.

зацию интуитивных представлений. Это необходимо сделать не столько для развития собственно математической теории вероятностей, сколько для эффективизации ее приложений. Для Бернулли, в частности, научная структуризация интуитивных представлений о вероятности и достоверности была необходима для разработки учения о доводах или искусства делать предположения (в буквальном смысле этих слов), которому он посвятил вторую и третью главы четвертой части своей работы.

Исходя из определения вероятности как степени достоверности и называя одно из нескольких событий *более вероятным*, если оно имеет большую степень достоверности, Бернулли замечает, что *здравый смысл* называет вероятным лишь то, что *заметно* превосходит половину достоверности, оставляя за событиями, вероятность которых колеблется около 1/2, характеристику *сомнительных*. «Так, — пишет Бернулли, — вероятнее то, что имеет 1/5 достоверности, чем то, что имеет 1/10, хотя на самом деле ни то ни другое не вероятно»[65].

Фиксируя несоответствие между научным и интуитивным пониманием словосочетания «*вероятное событие*», Бернулли осознает, что хотя события с очень малой, хотя и большей нуля вероятностью *практически* (в подавляющем большинстве случаев) не происходят, с математической (научной) точки зрения любое событие, имеющее конечную, большую нуля вероятность, необходимо считать *возможным*, в противном случае построение вероятностных моделей представляется чрезвычайно затруднительным. «Невозможно же то, — замечает Бернулли, — что не имеет никакой или бесконечно малую»[66] степень достоверности. Активно помогая Лейбницу в разработке математического анализа, Бернулли не удерживается от соблазна применить представление о бесконечно малом при определении невозможного события. Основанием для такого применения служило для Бернулли то обстоятельство, что операции с бесконечно малыми величинами в анализе,

[65] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 27.

[66] Там же.

проходящие на интуитивном уровне, приводили, как правило, к верным результатам. Однако отсутствие строгого определения бесконечно малой величины делало определение невозможного события двусмысленным. И наконец, в соответствии с традицией, пустившей к 80-м гг. XVII в. глубокие корни в вероятностной гносеологии Нового времени, Бернулли определяет понятие нравственно (морально) достоверного и нравственно (морально) невозможного. В соответствии с этой традицией морально достоверным является такое утверж- дение, «что противоположное не идет с ним ни в какое мыслимое сравнение»[67] по отношению к степени вероятности их истинности. Другими словами, достижение моральной достоверности в том случае, когда полная достоверность нереализуема, означало достижение наивысшей степени личной убежденности в истинности того или иного утверждения.

Заметим, что в отличие от классического определения вероятности, которое может иметь как субъективную, так и объективную интерпретацию, понятие нравственной достоверности носит принципиально субъективный характер, и Бернулли, поясняя примером свое определение, подчеркивает это обстоятельство: «Нравственно достоверно то, чего вероятность почти равна полной достоверности, так что разница неощутима. Наоборот, *нравственно невозможно* то, что имеет лишь столько вероятности, сколько нравственно достоверному недостает до полной достоверности. Так, если за нравственно достоверное считается то, что имеет 999/1000 достоверности, то будет нравственно невозможным, имея только 1/1000 достоверности»[68]. Надо отметить, что Бернулли осознает нечеткость, «нематематичность» данных им определений вероятного, невозможного, нравственно достоверного и в соответствии со своим методологическим принципом исчерпывающей математической строгости не использует эти определения при проведении собственно математических теоретико-вероятностных рассуждений.

---

[67] *Лейбниц Г.В.* Соч.: В 4 т. Т. 3. С. 421.
[68] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 24—25.

Далее, однако, Бернулли пытается уточнить определение нравственно достоверного. Так, он предлагает правительству установить фиксированную границу для нравственной достоверности: «Было бы поэтому полезно, — пишет Бернулли, — если бы властью Правительства были установлены для нравственной достоверности известные пределы; — например, если бы было определено, достаточно ли для достижения ее 99/100 или требуется 999/1000 достоверности, чтобы Судья не оказывал какого-либо пристрастия сторонам, но имел твердые указания, с которыми постоянно согласовался бы при вынесении приговора»[69]. Разумеется, такое дополнение вряд ли решает проблему объективизации данного определения. От субъективности определения нравственной достоверности можно освободиться, лишь называя нравственно достоверным такое событие, вероятность которого для любого положительного числа a больше, чем 1-a. Именно это определение использует Бернулли в одной из формулировок своего основного результата[70].

Дав определение вероятности через отношение благоприятных случаев к равновозможным (классическое определение вероятности), Бернулли в IV главе четвертой части своей книги пытается выяснить границы эффективного применения этого понятия. Он справедливо полагает, что сфера применимости данного им определения ограничивается главным образом играми, которые устроены так, что «совершенно известны числа случаев, влекущих выигрыш или проигрыш, а сами случаи могли бы встретиться одинаково легко. В большинстве же других явлений, — продолжает Бернулли, — зависящих или от действий сил естественных, или от свободной воли людей, не имеет места ни то ни другое»[71]. Ретроспективно эти слова Бернулли можно рассматривать как предостережение от некорректных, часто совершенно необоснованных применений «классического» определения вероятности, в осо-

[69] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 31.
[70] Там же. С. 24—25.
[71] Там же. С. 40.

бенности там, где явления зависят от «свободной воли людей». На это предостережение, однако, большинство из последователей Бернулли в области теории вероятностей не обратили должного внимания.

При этом, разбирая пример с игральной костью, Бернулли следующим образом обосновывает равновозможность различных случаев, а следовательно, и корректность применения «классического определения вероятности»: «...Вследствие подобия (конгруэнтности граней и равномерной плотности кости) нет никакого основания, почему одна грань могла бы легче открыться, чем другая»[72]. В этом высказывании чрезвычайно важно, что принцип недостаточности оснований (в данном случае — предпочтения той или иной грани игральной кости), из которого следует равновозможность, у Бернулли, в свою очередь, обосновывается определенной информацией о свойствах исследуемого объекта. В этом существенное отличие Бернулли от ряда его последователей, в частности Лапласа, которые, напротив, обосновывали упомянутый принцип *отсутствием всякой информации* об интересующих свойствах объекта. Понятно, что для Лапласа и ряда других ученых сфера применения так называемого классического определения неограниченно расширяется (разумеется, большинство таких применений оказывается неправомерным). Поэтому, веря в неограниченные возможности теории вероятностей, основанной на классическом определении, Лаплас и его последователи не уделяют внимания и не дают определения другого, статистического понимания вероятности, хотя, как считают О.Б. Шейнин и Л.Е. Майстров, в XVIII и XIX вв. (уже после Бернулли) «практически применялись оба (классическое и статистическое. — *Авт.*) определения вероятности»[73]. Бернулли же, подчеркнем еще раз, был убежден в том, что, хотя вероятностные представления применяются преж-

[72] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 40—41.

[73] История математики с древнейших времен до начала XIX столетия: В 3 т. Т. 3. Математика XVIII столетия. М., 1972. С. 131. Статистическое определение вероятности использовалось главным образом в тех исследованиях, которые сейчас принято относить к математической статистике.

де всего в условиях недостатка информации, исходные вероятности могут быть вычислены исключительно на основе исследования и осмысления интересующих нас свойств объектов (другими словами, путем получения и переработки определенного количества информации об объекте). Именно эта черта гносеологических представлений Бернулли стимулировала его поиски другого определения вероятности, поиски, которые под влиянием «Логики Пор-Рояля» и некоторых статистических исследований привели его к статистическому определению вероятности.

Показав читателю невозможность использования данного им ранее («классического») определения вероятности в ряде сложных ситуаций (например, при прогнозировании погоды), Бернулли замечает: «Но здесь нам открывается другая дорога для достижения искомого. И что не дано вывести a priori (исходя из принципа равновозможности. — *Авт.*), то по крайней мере можно получить a posteriori, т. е. из многократного наблюдения результатов в подобных примерах. Потому что можно предполагать, что некоторое явление впоследствии в стольких же случаях может случиться или не случиться, в скольких при подобном же положении вещей раньше оно было отмечено случившимся или неслучившимся»[74]. Бернулли называет такой способ определения вероятности опытным, замечая при этом, что он не нов и не необычен. Здесь, исходя из приведенных ученым примеров, следует отметить, что Бернулли имеет в виду не только «Логику Пор-Рояля», на которую он непосредственно ссылается[75], но и ряд статистических исследований, с которыми ему удалось познакомиться. Известно по крайней мере, что Бернулли был знаком с работой одного из основателей статистики народонаселения (шире — политической арифметики) — Дж. Граунта «Естественные и политические наблюдения над бюллетенями смертности», вышедшей в 1662 г. в Лондоне[76]. В этой

[74] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 41.
[75] См. там же. С. 42.
[76] См.: *Шейнин О.Б.* Комментарий 1. С. 85—86.

книге Граунта нет статистического определения вероятности, однако фактически он, как и автор позднее вышедшей книги «Наблюдения над Дублинскими записями смертности (Лондон, 1683) У. Петти, вплотную подходит к этому определению. Так, Граунт, используя имеющиеся данные, устанавливает, например, «что перевес рождений мальчиков над рождениями девочек составляет для Лондона 14/13, что в среднем на один брак приходится 4 ребенка... что на каждые 11 семейств ежегодно умирает 3 человека»[77]. Используя эти числа, из которых непосредственно можно получить статистические вероятности ряда событий, Граунт пытается вычислить примерное количество жителей Лондона.

Граунт обращает внимание на необходимость большого объема наблюдений для получения правдоподобных статистических выводов[78]. Бернулли также отмечает это обстоятельство: «...Всякому ясно и то, что для такого рассуждения (речь идет об "опытном" способе определения вероятности. — *Авт.*) о каком-либо явлении недостаточно взять одно или другое наблюдение, но требуется большой запас наблюдений»[79]. Бернулли понимает, что, чем больше наблюдений принимается во внимание, тем ближе значение статистической вероятности, вычисляемой как отношение благоприятных случаев к общему числу наблюдений, к истинному значению вероятности рассматриваемого события. При этом под истинным значением можно понимать как объективную вероятность события, так и субъективную вероятность, соответствующую уровню наших знаний о явлении.

Бернулли, однако, не удовлетворяется констатацией этих соображений, известных из работ первых статистиков и, в сущности, вполне соответствующих обычному здравому смыслу. Его как математика интересует проблема, о которой, по его словам, «до сих пор, может быть, никто и не подумал»[80]. А именно, продолжает

[77] См.: *Майстров Л.Е.* Развитие понятия вероятности. С. 70.
[78] См. там же. С. 71—72.
[79] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 42.
[80] Там же.

Бернулли, «остается исследовать, будет ли при таком увеличении числа наблюдений вероятность достичь действительного отношения между числами случаев, при которых какое-либо событие может случиться или не случиться, постоянно возрастать так, чтобы наконец превзойти всякую степень достоверности, или же задача, так сказать, имеет свою асимптоту, т. е. имеется такая степень достоверности, которую никогда нельзя превзойти, как бы ни умножались наблюдения; так что, например, никогда нельзя иметь уверенности более половины, или 2/3, или 3/4 достоверности в том, что мы нашли истинное отношение случаев (т. е. истинную вероятность события. — *Авт.*)»[81]. Другими словами, основная проблема, которую ставит и решает Бернулли, состоит в следующем: является ли нравственно достоверным (в смысле сколь угодно близкого приближения вероятности к 1) то, что при увеличении числа наблюдений статистически вычисленная вероятность события становится сколь угодно близкой к истинной вероятности события.

О.Б. Шейнин считает, что под «истинной вероятностью» Бернулли имеет в виду ранее определенную им «классическую» вероятность[82], пытаясь установить соотношение между статистическим и «классическим» определениями. Действительно, хотя, формулируя проблему, Бернулли не поясняет, что он понимает под «истинным отношением случаев», можно с достаточным основанием предположить, что речь идет о классической вероятности, так как Бернулли ничего не говорит о других возможных определениях вероятности. Однако в ряде приводимых Бернулли примеров (прогноз погоды или бросание неправильной кости) вычисление «классической» вероятности в принципе невозможно уже по той причине, что отсутствует система равновозможных событий. Таким образом, можно полагать, что Бернулли ставит свою проблему несколько шире: вне зависимости от того, возможно ли в принципе вычисление a priori «истинной вероятности события» (в частно-

[81] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 42–43.
[82] См.: *Шейнин О.Б.* Комментарий 1. С. 100.

сти, через систему равновозможных случаев, т. е. в классическом смысле), необходимо выяснить, способна ли статистически вычисленная вероятность (другими словами, частота) со сколь угодно высокой (наперед заданной) точностью аппроксимировать это «истинное» значение.

Бернулли справедливо считает, что «если бы этого не случилось, то, признаюсь, следовало бы усомниться в нашей попытке определять число случаев из опыта. Но если это достигается, и таким путем наконец получается нравственная достоверность (а что это на самом деле так, я покажу в следующей главе), то находим числа случаев a posteriori почти с той же точностью, как если бы они были нам известны a priori, что в общественной жизни, где нравственно достоверное принимается за вполне достоверное... без сомнения, вполне достаточно, дабы направить наши предположения в каком угодно предмете случайном не менее научно, чем в играх»[83]. Бернулли понимает, что решение поставленной им проблемы может дать ответ на вопрос о принципиальных возможностях новой науки в описании реальных «случайных» явлений, ибо, по его мнению, в большинстве исследуемых ситуаций единственным способом получения исходных вероятностей является статистический. Именно этим можно объяснить, почему Бернулли придавал огромное значение своему открытию, сравнивая его с решением проблемы квадратуры круга[84]. Новизна решенной им задачи, указывает Бернулли, «и величайшая польза, сопряженная с такою же трудностью, может придать вес и цену всем другим главам этого учения»[85].

Наконец, в пятой, заключительной главе четвертой части Бернулли дает математическую формулировку и, как уже отмечалось, исчерпывающе строгое доказательство своей теоремы, решая тем самым поставленную принципиально важную проблему. Из доказанной Бернулли теоремы вытекает, что при большом числе наблю-

---

[83] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 43.

[84] См.: *Шейнин О.Б.* Комментарий 1. С. 92 (сноска).

[85] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 44.

дений статистическая вероятность с вероятностью, сколь угодно близкой к единице, с любой наперед заданной степенью точности служит оценкой истинной вероятности исследуемого события. Осмысливая полученный результат, Бернулли считает, что из него «вытекает то удивительное, по-видимому, следствие, что если бы наблюдения над всеми событиями продолжать всю вечность (причем вероятность наконец перешла бы в полную достоверность), то было бы замечено, что все в мире управляется точными отношениями и постоянным законом изменений, так что даже в вещах в высшей степени случайных мы принуждены были бы признать как бы некоторую необходимость и, скажу я, рок»[86].

Таким образом, уже на этапе становления новой теории можно зафиксировать не только стимулирующее влияние философских (прежде всего гносеологических) представлений на ее развитие, но и тот примечательный факт, что собственно математические результаты способствовали выдвижению философской гипотезы о наличии определенного типа закономерностей («как бы некоторая необходимость» которая имеется «даже в вещах в высшей степени случайных»), управляющих случаем. Заметим, что законы теории вероятностей фактически призваны отражать эти «закономерности случайного», и теорема Бернулли является одним из первых примеров подобного рода. С другой стороны, нельзя не отметить и то, что само существование законов теории вероятностей ставит под сомнение убеждение здравого смысла, гласящее, что «случайность есть отсутствие закономерности». И только в 60-е гг. XX в. алгоритмический подход к проблеме случайного позволил в некотором смысле восстановить в правах это естественное представление здравого смысла.

Классическая теория вероятностей: надежды, успехи, разочарования

В письме к Лейбницу (3.10.1703) Я. Бернулли писал, что, несмотря на плохое здоровье, он близок к за-

[86] *Бернулли Я.* О законе больших чисел. С. 59.

вершению работы над «Искусством предположений». Недостает лишь, отмечал Бернулли, важного раздела, в котором он хотел показать применение «Искусства предположений» к гражданским, моральным и хозяйственным вопросам. В другом письме (20.04.1704) Бернулли сообщал Лейбницу, что его теория вероятностей может применяться в исследованиях о страховании, о пожизненных рентах, о разделе имуществ. Некоторые примеры приложений теории вероятностей к указанным вопросам содержатся в дневниках автора «Искусства предположений»[87].

Приложения теории вероятностей в области статистики народонаселения и основанном на ней страховании жизни, а также к проблеме исчисления пожизненных рент появились до Бернулли в работах Дж. Граунта, Я. де Витта, Э. Галлея и других ученых. В частности, Я. де Витт «был первым, применившим теоретико-вероятностные рассуждения к страхованию жизни. Приняв определенный вероятностный закон для смертности населения, он подсчитал стоимость пожизненной ренты»[88]. И, по-видимому, говоря о новых приложениях теории вероятностей, Бернулли имел в виду существенное расширение ее возможностей. Кроме писем об этом свидетельствует и Н. Бернулли, племянник Я. Бернулли, написавший предисловие к первому изданию (1713 г.) «Искусства предположений». «Четвертая часть сочинения, — писал Н. Бернулли, — в которой автор намеревался рассказать об использовании всего изложенного выше в гражданских, моральных и экономических вопросах, он из-за продолжительной болезни и безвременно наступившей смерти оставил незавершенной»[89]. Однако после смерти Я. Бернулли не удалось обнаружить даже набросков предполагаемого продолжения четвертой части. С другой стороны, Бернулли, по-видимому незадолго до смерти, аккуратно переписал все четыре части работы. Трудно удержаться от предположения, что

[87] См.: *Юшкевич А.П.* Николай Бернулли и издание... С. 335.

[88] *Шейнин О.Б.* [Комментарий I]. С. 86.

[89] *Бернулли Н.* Предисловие к «Искусству предположений»// Бернулли Я. О законе больших чисел. С. 162.

Бернулли, следуя в первых четырех частях работы общепринятым тогда критериям математической строгости, уничтожил наброски, касающиеся применения своего учения в «моральных», «политических» и «хозяйственных» вопросах, ибо результаты, полученные им, или не поддавались строгому математическому обоснованию, или не выходили за рамки уже известных. В уже упомянутом предисловии Н. Бернулли писал о том, что издатели просили его завершить работу согласно первоначальным намерениям автора, имея в виду его диссертацию, в которой он попытался применить «Искусство предположений» в вопросах права. Н. Бернулли, ссылаясь на свою занятость и недостаток опыта, отклонил это предложение, заметив при этом следующее: «Но чтобы полезнейшее дело, а именно приложение исчисления вероятностей к политике и экономике, не осталось в полном небрежении, мы просили бы почтеннейшего г. автора французской книги «Опыта анализа азартных игр», а также достопочтимого г. Муавра, которые недавно опубликовали прекрасные образцы этого искусства, чтобы они взяли на себя эту задачу и сообщили публике свои выдающиеся открытия»[90].

Книга «Анализ азартных игр» была издана в 1708 г. анонимно. Ее автором был крупный французский математик, серьезно изучавший также философию, П.Р. Монмор (1678 — 1719). Во втором издании своей книги, вышедшем в 1714 г., Монмор, как бы отвечая на предложение Н. Бернулли (хотя он и не знал о нем), отмечает: «Если бы я предполагал во всем следовать Бернулли (имеется в виду Якоб. — *Авт.*), то я должен был бы добавить часть, где я применил бы методы, изложенные в первых частях, к политическим, нравственным и экономическим вопросам. Мне помешало выполнить это то затруднение, которое я встретил, когда попытался сделать предположения, основанные на известных фактах, которые могли бы руководить мной и поддерживать меня в моих исследованиях. Не будучи в состоянии удовлетворить это требование полностью, я решил, что лучше отложить эту

[90] *Бернулли Н.* Предисловие к «Искусству предположений»// Бернулли Я. О законе больших чисел. С. 163.

работу до другого времени или предоставить славу ее свершения другому, более, чем я, искусному лицу, *чем говорить вещи или слишком общеизвестные, или недостаточно точные*, которые совершенно не отвечали бы ожиданиям читателя и великолепию вопроса (курсив наш. — *Авт.*)»[91].

Таким образом, можно, по-видимому, зафиксировать два важных тезиса. Во-первых, и Я. Бернулли, и Монмор считали исчисление вероятностей («Искусство предположений») полноправной частью математики, подобно арифметике или анализу бесконечно малых. Во-вторых, надеясь на применение исчисления вероятностей в политических, правовых и нравственных вопросах, они тем не менее не видя возможности математически строго обосновать эти применения, воздержались от реализации своих, казалось бы, многообещающих намерений. Здесь следует отметить, что соблазн применить теорию вероятностей к самым различным проблемам человеческого общества, особенно имея в виду недостаточный уровень развития самих общественных наук, был очень велик. Действительно, вероятностные рассуждения на каждом шагу применяются нами при анализе тех или иных общественных явлений. И если возможно доводить эти рассуждения, так сказать, до числа, обосновывая их с математической точностью, то перед исследованием общественных явлений открываются небывалые перспективы. Более того, на основе этих исследований, как считали многие ученые, можно будет с малой вероятностью ошибки принимать квалифицированные решения в самых сложных ситуациях — скажем, при вынесении приговоров в судах.

Большинство ученых XVIII и XIX вв. в отличие от Я. Бернулли и Монмора не смогли удержаться от искушения применить теорию вероятностей к исследованию политических, правовых и нравственных проблем, часто просто не обращая внимания на нарушение критериев строгости, которых придерживались основатели теории вероятностей — Паскаль, Ферма, Гюйгенс и Я. Бернулли. В свою очередь, ослабление строгости, частое смешение

[91] Цит. по: *Майстров Л.Е.* Теория вероятностей... С. 91.

собственно математических предпосылок и результатов с содержательными, относящимися к различным областям общественной жизни, все более и более отделяло теорию вероятностей от других математических дисциплин. Различие между теорией вероятностей и другими математическими теориями в аспекте обоснованности результатов и применений особенно остро стало осознаваться после того, как анализ бесконечно малых получил строгое обоснование (Коши, 1821 г.). Все это в конце концов привело большинство математиков (прежде всего в Западной Европе) к отказу от признания за теорией вероятностей статуса математической дисциплины. Но прежде теории вероятностей суждено было пройти бурный период, в котором причудливо сочеталось получение интересных математических результатов и обоснованные их применения с наивными, а то и нелепыми с современной точки зрения попытками приложения теории к «моральной» проблематике. Этот период в истории теории вероятностей принято называть классическим, и связан он прежде всего с именами Муавра, Лапласа и Пуассона, с одной стороны, и петербургских математиков Чебышева, Ляпунова и Маркова — с другой.

В предисловии к своему трактату Монмор, говоря о различных приложениях теории вероятностей (в частности, в азартных играх), замечает: «В этом трактате я в первую очередь имел в виду удовольствие математиков, а не пользу игроков; по нашему мнению, те, кто теряет на игры время, вполне заслуживает (того, чтобы. — *Авт.*) терять в них свои деньги»[92]. Таким образом, у Монмора, как и, впрочем, у Я. Бернулли, собственно математические интересы еще превалируют над желанием применить теорию вероятностей к проблемам реальной жизни, особенно если эти приложения недостаточно обоснованы. Азартные игры здесь рассматриваются не для того, чтобы разработать их теорию, создать новые правила и т. п., а потому, что они являются прекрасной наглядной моделью вероятностных проблем. При этом особенно важно подчеркнуть, что новые математические понятия вводятся в соответ-

[92] Цит. по: *Майстров Л.Е.* Теория вероятностей... С. 92.

ствии с логикой прежде всего математического исследования, для успешного преодоления математических трудностей, но не потому, что введение новых понятий необходимо для, скажем, отражения некоторых аспектов человеческой психики, имеющих значение в свете анализа процесса азартной игры.

Позже, однако, возникло теоретико-вероятностное понятие, отражающее, по замыслу ряда ученых, математически почти неуловимые аспекты реальных ситуаций, прежде всего в области психологии, этики, юриспруденции. Речь идет о понятии «морального», или «нравственного», ожидания.

Понятие морального ожидания вводится по аналогии с понятием математического ожидания, которым фактически пользовались уже основатели теории вероятностей. Однако ряд ученых высказывали мнение, что это понятие неадекватно отражает ряд жизненных ситуаций, и поэтому необходимо наряду с ним введение нового понятия — морального ожидания. Так, французский естествоиспытатель Ж.Л. Бюффон, рассматривая классическую задачу из области азартных игр (игру в кости), замечал, что если два человека, играющие в кости на половину своего состояния, имеют вначале по 100 талеров, то, поскольку выигравший увеличивает свое состояние на 1/3, а проигравший уменьшит его в два раза, игра является невыгодной для игроков по своей сущности. Для адекватного математического описания данной ситуации он и предлагает ввести понятие нравственного ожидания. В отличие от математического ожидания численное значение морального ожидания (в данном конкретном случае) зависит не только от суммы выигрышей и соответствующих им вероятностей, но и от начального капитала играющих, точнее, от отношения ожидаемого приращения капитала (выигрыша) ко всему капиталу.

Бюффон понимает, что его подход существенно отличается от принятых в теории вероятностей допущений, но тем не менее, желая «приблизить» выводы теории вероятностей к реальности, настаивает на введении нового понятия. Так, в работе «Опыт моральной арифметики» он пишет: «Скупой похож на математика;

тот и другой ценят деньги по внутреннему их достоинству; рассудительный же человек не разбирает, какова их условная ценность, а видит только выгоды, которые может извлечь из них. Он рассуждает основательнее скупого и чувствует лучше математика. Талер, отложенный бедным для внесения законной повинности, и талер, дополняющий мешки ростовщика, в глазах скупого и математика имеют одинаковую ценность: первый присвоит себе каждый из них с равным наслаждением, второй будет считать их двумя равными единицами; между тем человек рассудительный оценит в золотую монету талер бедного и в грош талер ростовщика»[93]. Позднее Лаплас, обсуждая понятие нравственного ожидания, отмечал, что человек, который лишен какого-либо имущества, обладает чем-то равносильным некоторому капиталу. Если это не так, считал Лаплас, то непонятно, почему такой человек не соглашается взять некоторую небольшую сумму с условием после ее растраты полностью отказаться от всяких средств к существованию. Однако данное разъяснение не только не проясняет сути дела, но чрезвычайно осложняет использование этого понятия. Дело в том, что величина нравственного ожидания, по определению, зависит от фактически имеющегося капитала, поэтому пояснения Лапласа помимо его желания дискредитируют это понятие. Но несмотря на расплывчатость понятия нравственного ожидания, искусственный характер его введения, оно серьезно рассматривалось в работах таких математиков, как Д. Бернулли, Лаплас, Пуассон и многих других. Попытки использования понятия нравственного ожидания в работах математиков XVIII—XIX вв. как нельзя лучше характеризуют состояние логических оснований теории вероятностей, неопределенность статуса этой науки, недостаточную разработанность ее философско-методологических предпосылок.

Ученые, пытавшиеся найти применение понятию нравственного ожидания, как правило, были убеждены во всеобщей приложимости теории вероятностей, в особенности к так называемым «моральным пробле-

[93] Цит. по: *Майстров Л.Е.* Теория вероятностей... С. 143.

мам». Так, один из первых апологетов этого понятия, Д. Бернулли, писал: «Совершенно бесспорно, что в наше время благороднейшее учение об искусстве делать предположения находится в пренебрежении или недооценивается. А между тем оно помогает разрешать весьма многие вопросы из области морали и политики, извлекать максимальную пользу из человеческих поступков и предусмотрительно их направлять»[94].

В 1760 г. Д. Бернулли пишет работу «О пользе оспопрививания», в которой на основе применения в теории вероятностей анализа бесконечно малых пытается ответить на вопрос, волновавший тогда широкую общественность. В ней Д. Бернулли утверждает, что оспопрививание полезно, ибо, согласно расчетам, основанным на вероятностных соображениях, оно увеличивает среднюю продолжительность жизни на 3—4 года. Однако уже в том же году, еще до выхода работы Д. Бернулли в свет, выдающийся французский математик Даламбер, выступая в Академии наук, показал несостоятельность выводов Бернулли. Оценивая идеи Бернулли с точки зрения человека, который вероятную выгоду прожить на три или четыре года больше сравнивает с непосредственной опасностью смерти от прививки, Даламбер замечает, что проблема не может быть предметом точного математического подсчета. В одной из своих работ Даламбер писал по этому поводу: «Я полагаю, что в среднем 30-летнему человеку предстоит прожить еще 36 лет, полагаясь на природу и не делая себе прививки. Затем я предполагаю, что после операции средняя продолжительность жизни будет 34 года. Не кажется ли, что для оценки преимуществ прививки следует сравнить не только среднюю продолжительность жизни в 30 лет и среднюю продолжительность жизни в 34 года, но и риск, равный 1 против 200 умереть через месяц от прививки с отдаленным преимуществом хоть на 4 года больше после 60?»[95] При этом Даламбер упрекает Д. Бернулли в том, что тот рассматривает вопрос оспопрививания с точки зрения интере-

[94] Цит. по: *Майстров Л.Е.* Теория вероятностей... С. 134.

[95] Там же. С. 149.

сов государства, игнорируя интересы отдельного человека. Даламбер отмечает также, что оценку продолжительности жизни для лиц данного возраста можно проводить двумя способами, а именно, с одной стороны, вычисляя среднюю продолжительность жизни, которая имеет равные шансы как не быть достигнутой, так и быть превзойденной. Французский ученый-энциклопедист считает, что поскольку каждое из этих определений продолжительности жизни имеет право на существование, теория вероятностей не является наукой, на основании которой можно делать вполне однозначные, математически обоснованные выводы.

Даламбер был первым ученым, подвергшим сомнению основания и применения теории вероятностей. В работе «Сомнения и вопросы относительно теории вероятностей» он писал: «Я первый осмелился высказать сомнения относительно некоторых принципов, которые служат основанием для этой теории»[96]. Из проблем, определивших его критическое отношение к возможностям теории вероятностей, Даламбер выделяет следующие: 1) каким образом можно определить вероятность события в отсутствии равновозможных случаев? 2) какой смысл мы должны вкладывать в выражения типа: «Вероятность события настолько мала, что ею можно пренебречь»? Сам Даламбер склонялся к тому, что вероятность события необходимо определять на основании опыта.

Однако наряду с методологически обоснованными возражениями против чисто априорного определения исходных вероятностей работы Даламбера содержали досадные ошибки при решении элементарных теоретико-вероятностных задач в условиях наличия равновозможных случаев.

Разумеется, лишь ошибками, содержащимися в работах Даламбера, невозможно объяснить причины невосприимчивости большинства ученых XVIII – XIX вв., занимавшихся проблемами теории вероятностей, к возражениям одного из авторов «Энциклопедии» против, с одной стороны, необоснованных применений теории вероятно-

[96] Цит. по: *Майстров Л.Е.* Теория вероятностей... С. 149.

стей и, с другой стороны, априорного определения понятия вероятности через понятие равновозможности. Действительно, ведь у Я. Бернулли, на работе которого были основаны последующие исследования, содержатся как априорное, «классическое» определение вероятности, так и апостериорное, статистическое. Почему же последователями Я. Бернулли применялось, как правило, априорное определение? Речь идет о ситуациях, в которых определение вероятности через равновозможность применялось в условиях абсолютной неопределенности. Очень характерным является здесь высказывание Р. Прайса, издателя работ Г. Байеса, касающееся известных правил Байеса. Отмечая, что правила Байеса применимы при изучении различных природных явлений, Прайс подчеркивает: «Нужно всегда помнить, что эти выводы предполагают полное предшествующее незнание природы»[97]. Таким образом, следуя Прайсу, с которым были согласны многие его современники, применение правил Байеса, как и всей теории вероятностей, обусловлено не чем иным, как абсолютной гносеологической неопределенностью. Соответственно использование априорного определения вероятности через равновозможность связывалось с принципом недостаточного основания. Фактически, однако, в тех случаях, когда классическое определение вероятности приводило к верным результатам, его применение может быть, пусть ретроспективно, обосновано ссылкой на вполне определенную информацию об исследуемых событиях. В то же время неверные философско-методологические представления часто приводили к ошибкам собственно математического характера.

Это было характерно для применения формулы Байеса, которая, хотя и не содержалась в его работах, но была названа так Лапласом из-за ее сходства с одним из правил Байеса. Формула Байеса позволяла находить апостериорный закон распределения случайной величины с известным априорным законом распределения. Очень часто при использовании этой формулы априорное рав-

---

[97] *Bayes J.* Studies in the history of probability and statistics. IX. Thomas Bayes's essay towards solving a problem in the doctrine of chances //Biametrica, 45. 1958. № 3—4. P. 313.

номерное распределение подразумевалось на основе все того же принципа недостаточного основания в условиях абсолютной гносеологической неопределенности, что приводило к ошибочным, иногда совершенно нелепым результатам, например тогда, когда отыскивалось значение неизвестной константы, которая, разумеется, не является случайной величиной. Строго говоря, до середины XIX в. не существовало понятия случайной величины, и его введение, в числе прочих причин, тормозилось некорректным использованием формулы Байеса[98].

Однако теоретико-вероятностные рассуждения, основанные на априорном (классическом) определении вероятности, использовались для обоснования различных естественно-научных гипотез. Так, Бюффон пытается использовать теорию вероятностей для обоснования своей гипотезы о том, что все шесть известных к тому времени планет (Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн) образовались в результате столкновения Солнца с кометой.

Как подчеркивает Майстров, «в своих работах Бюффон применяет следующее рассуждение. Подсчитывается вероятность какого-нибудь объективно существующего явления (например, вероятность движения всех планет в одном направлении), если эта вероятность мала, то утверждается, что это явление не случайно, а закономерно; необходимо искать эту закономерность»[99]. Подобный метод рассуждения не был открытием Бюффона. Уже Муавр в своей работе «Учение о случаях», посвященной Ньютону и основанной на философских позициях создателя классической механики, «хотел установить вероятностный критерий для отличия необходимого (предначертанного провидением) и случайного, особенно если результаты опыта (статистическая частота осуществления ряда событий) значительно отличается от ожидаемого (по априорной вероятности) результата»[100]. Как видим, Муавр

[98] См.: История математики с древнейших времен до начала XIX столетия. Т. 3. С. 138, 151.

[99] *Майстров Л.Е.* Теория вероятностей... С. 144.

[100] История математики с древнейших времен... Т. 3. С. 130.

наряду с необходимым допускал объективное существование случайного. Однако использование теоретико-вероятностных соображений для обоснования естественно-научных гипотез, как это ни парадоксально, объективно способствовало формированию концепции так называемого лапласовского детерминизма, классическая версия которого, разработанная самим Лапласом, абсолютно исключала случайные события в реальности[101]. Более того, сам Лаплас «систематически применял теоретико-вероятностные методы и рассуждения для выявления детерминированных законов небесной механики»[102].

Ведущим мотивом гносеологических воззрений Лапласа является его убеждение в том, что подавляющее большинство наших знаний о реальности носит вероятностный характер. Эту мысль он предельно ясно зафиксировал в самом начале своего «Опыта философии теории вероятностей», помещенного в качестве введения к фундаментальной работе «Аналитическая теория вероятностей». «Я хочу изложить здесь без помощи анализа, — пишет Лаплас, — принципы и общие результаты теории вероятностей, изложенной в этой книге («Аналитической теории вероятностей». — *Авт.*), применяя их к важнейшим вопросам жизни, большинство из которых не что иное, как задачи теории вероятностей. Можно даже сказать, если говорить точно, что почти все наши знания только вероятны; и в небольшом кругу предметов, где мы можем познавать с достоверностью, в самой математике главные средства достигнуть истины — индукция и аналогия — основываются на вероятностях; таким образом, вся система человеческих знаний связана с теорией, изложенной в этом труде»[103]. При этом Лаплас «по крайней мере на раннем этапе своего творчества связывал появление теории вероятностей с невозможностью вынесения уверенного мнения о подавляющем большинстве явлений...; це-

---

[101] См.: *Купцов В.И.* Детерминизм и вероятность. М., 1976. С. 21 – 46.

[102] История математики с древнейших времен... Т. 3. С. 130.

[103] *Лаплас П.* Опыт философии теории вероятностей. М., 1908. С. 7.

лью теории вероятностей он полагал определение различных степеней правдоподобия таких явлений»[104].

Такое понимание теории вероятностей в полной мере следовало гносеологической традиции в философии Нового времени, в рамках которой стало возможно и само появление этой науки. Поэтому естественно, что определение основного понятия теории — понятия вероятности носит у Лапласа существенно гносеологический характер. Этому способствовала также концепция так называемого лапласовского детерминизма, разработанная ее автором в тесной связи с занятиями небесной механикой, которой Лаплас посвятил большую часть своей научной деятельности. «Правильность, которую обнаруживает нам астрономия, — писал Лаплас, — без всякого сомнения, имеет место во всех явлениях. Кривая, описанная простой молекулою воздуха или пара, определена так же точно, как и орбиты планет: разницу меж ними делает только наше незнание»[105]. И далее Лаплас дает определение вероятности через равновозможность, сразу подчеркивая, в отличие от Бернулли, его субъективный характер: «Вероятность обусловливается отчасти нашим незнанием, а отчасти нашим знанием. Пусть нам известно, что из трех или более событий должно произойти одно: но ничто не дает нам повода думать, что одно из них имеет преимущество перед другими. При такой неуверенности мы не можем предсказать достоверно, какое событие произойдет. Теория случайностей состоит в том, чтобы свести все однородные явления к известному числу равновозможных случаев, т. е. таких, существование которых *для нас было бы одинаково неопределенно*, и определить число случаев, благоприятствующих явлению, вероятность которого отыскивается. Отношение этого числа к числу всех возможных случаев и есть мера этой вероятности (курсив наш. — *Авт.*)»[106].

---

[104] *Шейнин О.Б.* Теория вероятностей П.С. Лапласа//Историко-математические исследования. Вып. XXII. М., 1977. С. 215.

[105] *Лаплас П.* Опыт философии... С. 11.

[106] Там же. С. 11—12.

Таким образом, определение вероятности напрямую связывается в этом высказывании Лапласа с отрицанием объективности случая и абсолютной неопределенностью ситуации, в которой событию приписывается численное значение вероятности. Такой подход оказывается вполне достаточным для построения классической теории ошибок измерения, в которой нуждалось картографирование европейских государств, уточнение размеров и формы Земли по астрономо-геодезическим и маятниковым измерениям, введение метрической системы мер. Действительно, результат измерения является случайным событием в том смысле, что его «случайность» определяется исключительно нашими познавательными возможностями (измерительными приборами и органами чувств), и поэтому чисто гносеологическое определение понятия вероятности, данное Лапласом, в этом случае адекватно исследуемой ситуации. При этом теория ошибок призвана давать оценку степени правдоподобия тех или иных утверждений, основанных на измерении, а также вероятностям тех или иных отклонений результатов измерений от истинных размеров изучаемых объектов. Вследствие этого неудивительно, что теория ошибок измерений является наиболее значительным с прикладной точки зрения достижением классической теории вероятностей. При этом нельзя не отметить, что попытки применения теории вероятностей за рамками теории ошибок толкали Лапласа к выходу за пределы философско-методологических оснований теории вероятностей, которые включали в себя отрицание объективности случая и принцип недостаточного основания (неопределенности ситуации), связанный с данным им «классическим» определением вероятности через равновозможность. Так, в том же самом «Опыте философии теории вероятностей», рассматривая принципы построения таблиц смертности, Лаплас пишет: «Таблица смертности представляет из себя ... таблицу вероятностей человеческой жизни. Отношение лиц, записанных рядом с каждым годом, к числу рождений есть вероятность, что новорожденное дитя доживет до этого года»[107]. Как справедливо отмечает Майстров,

[107] *Лаплас П.* Опыт философии... С. 136.

«подсчет вероятностей, который здесь рекомендует Лаплас, не соответствует классическому определению вероятности, данному Лапласом, как отношения равновозможных случаев»[108]. В самом деле, здесь, как и при решении многих задач по статистике народонаселения, Лаплас рекомендует применять статистическое определение вероятности.

Таким образом, потребности тех или иных приложений теории вероятностей обусловливали определенную непоследовательность в реализации Лапласом своих философско-методологических принципов и установок. Однако, как уже отмечалось, прямолинейная реализация философско-методологических принципов и установок порой приводила и к совершенно нелепым, неверным результатам[109]. Все это свидетельствовало, с одной стороны, об узости философско-методологических оснований теории вероятностей Лапласа, а с другой — об их принципиальной неадекватности с точки зрения расширения возможностей приложения этой теории. Последнее стало очевидным, когда Л. Больцман, Дж. Максвелл и другие ученые начали активно пользоваться вероятностными представлениями при решении физических проблем (кинетическая теория газов и т. п.). При этом большинство математиков не принимали их исследований всерьез по той причине, что понимание физиками вероятности выходило за рамки привычных представлений, заданных Лапласом.

Что касается самого Лапласа, то он был настроен крайне оптимистично по отношению к перспективам приложения теории вероятностей, построенной на базе априорного определения вероятности. Рассказав о приложении теории вероятностей в области теории ошибок, других естественно-научных проблем, Лаплас отмечает: «Мы только что убедились в выгоде, предоставляемой анализом вероятностей при изыскании законов естественных явлений, причины которых не-

---

[108] *Майстров Л.Е.* Теория вероятностей... С. 168.

[109] См. об этом также: *Пойа Д.* Математика и правдоподобные рассуждения. М., 1957. С. 398.

известны или же слишком сложны для того, чтобы действия их могли быть подчинены вычислению. То же самое относится почти ко всем объектам нравственных наук»[110]. Таким образом, принцип недостаточности основания, на основе которого определяется априорная вероятность, открывает, согласно Лапласу, неограниченные возможности приложений теории вероятностей не только в области наук о природе, но и в области обществознания.

Возможность эффективного использования теории вероятностей в области «нравственных наук» обусловлена, согласно Лапласу, тем, что «большая часть наших суждений основана на вероятности свидетельских показаний»[111]. Автор «Аналитической теории вероятностей» понимает, что подчинить исчислению сложные вопросы «нравственных наук» «бывает часто невозможно из-за трудности оценить правдивость свидетелей, а также из-за большого числа обстоятельств, сопровождающих факты, о которых они свидетельствуют»[112]. Тем не менее он считает, что в ряде случаев можно корректно ставить и решать с помощью теоретико-вероятностных методов задачи, связанные с выявлением степени правдоподобия свидетельских показаний, правильности вынесенных приговоров и т. п. При этом Лаплас моделирует рассматриваемые общественные явления с помощью хорошо известных вероятностных моделей типа так называемой «урновой модели». Отождествляя (как правило, недостаточно корректно) основные структурные черты анализируемых явлений и теоретико-вероятностных моделей и разрешая затем соответствующую собственно теоретико-вероятностную проблему, Лаплас делает выводы, полезные, с его точки зрения для усовершенствования ряда общественных учреждений, в частности судов. Так, он пишет: «Вероятность ошибки или лжи свидетеля делается тем больше, чем более необычен рассматриваемый факт. Некоторые авторы утверждают про-

[110] *Лаплас П.* Опыт философии... С. 105.

[111] Там же. С. 106.

[112] Там же.

тивное, основываясь на том, что так как форма необычного факта совершенно подобна форме обычного, то одни и те же мотивы должны нас побуждать верить свидетелю одинаково, утверждает ли он, что тот или другой из этих фактов имел место. Простой здравый смысл опровергает столь странное утверждение; но исчисление вероятностей, подтверждая указания здравого смысла... оценивает правдоподобность свидетельств о необычайных фактах»[113]. В другом месте Лаплас обосновывал необходимость увеличения состава суда присяжных для того, чтобы вероятность правильного решения была близка к 1. При этом он опирался на теорему Бернулли, неявно предполагая, что решения, принимаемые судьями в отдельности, независимы друг от друга. В качестве примера Лаплас разбирает случай, когда в судебном разбирательстве принимает участие 1001 судья. Касаясь современного ему суда присяжных, он замечает, что для «достаточного ограждения невиновности следует требовать (для осуждения. — *Авт.*) по крайней мере большинства девяти голосов из двенадцати»[114].

Неудивительно, что как во времена Лапласа, так и позднее подобные применения теории вероятностей подвергались резкой критике. Так, советский математик С.Н. Бернштейн, касаясь «моральных приложений» теории вероятностей, подобных изложенным выше, писал: «Здесь не принимается во внимание, что все судьи судят на основании тех же самых свидетельских показаний и вещественных доказательств, так что в простом деле все они более или менее одинаково разберутся, а если запутанные обстоятельства вводят в заблуждение одних, то и для других судей ошибка становится более вероятной, иначе говоря, в случае судебного приговора отсутствует условие независимости между суждениями отдельных судей, и это коренным образом изменяет положение вещей»[115]. Отметим, однако, что основная ошибка Лапласа состояла в том, что

[113] *Лаплас П.* Опыт философии... С. 111.
[114] Там же. С. 134.
[115] *Бернштейн С.Н.* Теория вероятностей. М.; Л., 1946. С. 179.

решение отдельного судьи о виновности или невиновности не является случайным событием, оно в каждом данном случае опирается на различные обстоятельства дела, пристрастия судей и т. п. и поэтому не может быть объектом исследования теории вероятностей. Правда, у нас в каждом отдельном случае может не быть достаточных оснований утверждать, что судья в большей мере склонен сказать «да», чем «нет», или наоборот, однако это, разумеется не является достаточным доводом для объявления решения судьи «случайным» событием. Но если вспомнить принцип недостаточности основания, который Лаплас фактически использует в качестве «теста» на случайность, то становится понятным, почему такие странные с современной точки зрения приложения теории вероятностей Лаплас считает совершенно естественными.

Примечательно тем не менее, что сам автор «Аналитической теории вероятностей», по-видимому, ощущал некоторую неуверенность, применяя теорию вероятностей к проблемам человеческого общества. Об этом говорят частые апелляции Лапласа к здравому смыслу, который, как он считает, наравне с теоретико-вероятностными рассуждениями отвечает за делаемые выводы. Так, рассматривая вопрос о вероятности судебных приговоров, Лаплас замечает: «Я попытаюсь применить исчисление к этому предмету, будучи убежден, что оно всегда является лучшим руководителем, когда опирается на данные, подсказываемые нам здравым смыслом»[116]. Более того, он пытается уверить читателя, что его «Аналитическая теория вероятностей» «есть, в сущности, не что иное, как здравый смысл, сведенный к исчислению: она заставляет оценивать с точностью то, что справедливые умы чувствуют как бы инстинктом, часто не умея отдать себе в этом отчета»[117]. Однако вряд ли здравый смысл когда-либо соответствовал представлению, рассматривавшему принцип недостаточности основания как указание на случайность того или иного явления, и поэтому претензия Лапласа

---

[116] *Лаплас П.* Опыт философии... С. 205.

[117] Там же.

на «точное» выражение здравого смысла и «справедливость» в общественной жизни отвергались уже его современниками. В то же время научный авторитет Лапласа, его выдающиеся достижения в области теории вероятностей, часть из которых была связана и с попытками применения теории к «нравственным» проблемам, его широковещательные заявления об открывающихся перед теорией вероятностей прекрасных перспективах не могли не привлечь внимание. И большинство ученых, посвятивших вслед за Лапласом свои исследования теории вероятностей, также не избежали увлечения «моральными» приложениями.

Это подтверждает творчество одного из наиболее выдающихся последователей Лапласа — С.Д. Пуассона. Его основная работа «Исследования о вероятности судебных приговоров по уголовным и гражданским делам» (1837) содержала, с одной стороны, доказательство знаменитой «теоремы Пуассона», вошедшей затем во все учебники по математической теории вероятностей, а с другой стороны, была заполнена совершенно необоснованными приложениями этой теоремы, которую ее автор ставит в основание своих исследований о верности решений судов, для определения вероятности любых человеческих решений независимо от их мотивации.

Как отмечает Л.Е. Майстров, «книгу Пуассона поддержали в первую очередь математики (их было сравнительно немного. — *Авт.*), которые считали естественным применять теорию вероятностей к законодательству, юриспруденции, политическим и экономическим наукам. Но это мнение не было единодушным. Ряд математиков выступили резко против такого применения. Они обвинили Пуасоона и его последователей в компрометировании самой математики. В споре доходили до утверждения, что положения (собственно математические результаты. — *Авт.*) Пуассона ложны. Эта критика распространилась также и на Лапласа»[118].

Здесь следует учитывать тот факт, что книга Пуассона написана тогда, когда математический анализ и

[118] *Майстров Л.Е.* Теория вероятностей... С. 189.

соответственно его приложения получили прочный логический фундамент в работе Коши «Алгебраический анализ», вышедшей в 1821 г. В то же время работы как Лапласа, так и Пуассона далеко не были свободны от крайне нестрогих и даже небрежных математических рассуждений, не соответствовавших сложившимся к этому времени нормам математической строгости. Впрочем, есть достаточные основания полагать, что ни Лаплас, ни Пуассон не были склонны считать теорию вероятностей областью чистой математики (даже с точки зрения достаточно широкого понимания этого термина в XIX в.). Скорее они рассматривали теорию вероятностей как естественно-научную (или даже шире — общенаучную) дисциплину, широко использующую методы математического анализа. Об этом говорит хотя бы тот факт, что ни плотности распределения, ни характеристические функции, бывшие особыми, специфически теоретико-вероятностными математическими понятиями (объектами), не стали у них самостоятельным предметом исследования. Кроме того, как отмечает О.Б. Шейнин, «принятый им (Лапласом. — *Авт.*) уровень абстракции оказался недостаточным для создания теории вероятностей как цельной математической дисциплины»[119]. И, по-видимому, Лаплас (как и Пуассон) не стремился к этому. Отношение к теории вероятностей как к части математического естествознания становится господствующим в Западной Европе надолго. Как отмечает американская исследовательница Д.Л. Бернстейн (со ссылкой на М. Каца), «после Лапласа вероятность почти исчезает как математическая дисциплина в западном мире до 1920-х годов»[120].

Состояние теории вероятностей в Западной Европе второй половины XIX в. очень точно охарактеризовано в следующих словах Б.В. Гнеденко: «Увлечение теорией вероятностей в первую четверть прошлого века, связанное с именами Лапласа и Пуассона, привело к огромному числу работ, посвященных приложениям к различным

---

[119] *Шейнин О.Б.* Теория вероятностей П.С. Лапласа. С. 220.

[120] *Bernstein D.L.* The role of applications in pure mathematics// The American Mathematical monthly. 1979. V. 86. № 4. P. 250.

проблемам естествознания и общественной жизни. Многие из них были настолько мало обоснованы, что впоследствии воспринимались в качестве «математического скандала». В результате упомянутые увлечения сменились глубоким разочарованием и полным скептицизмом в отношении возможности использования теории вероятностей в качестве метода научного познания. Среди математиков Западной Европы приобрел господство взгляд на теорию вероятностей как на своеобразное математическое развлечение, едва ли заслуживающее серьезного внимания»[121]. Показательно также и то, что разочарование в возможностях теории вероятностей было столь чувствительным, что способствовало усилению крайне детерминистских воззрений и полному отрицанию всякой полезности применения теории вероятностей где бы то ни было. «Даже в том случае, — писал Дж.С. Милль в 1843 г., — когда вероятности обусловливаются наблюдением и опытом, самое небольшое усиление данных (путем лучших наблюдений или более полного исследования специальных обстоятельств...) имеет больше значения, чем самое детальное исчисление вероятностей, основанных на данных в их прежнем, менее совершенном состоянии. Пренебрежение этим очевидным соображением дало начало тем неудачным приложениям исчисления вероятностей, которые сделали это исчисление настоящим позором математики. Достаточно упомянуть о приложении его к установлению достоверности свидетелей и правильности приговоров, выносимых присяжными (намек на работы Пуассона. — *Авт.*)»[122].

Отсутствие общепризнанных логических оснований теории вероятностей, надлежащей строгости ее построений, критериев обоснованности ее применений толкали ученых, не разделявших крайних взглядов Милля, к поиску путей выхода из кризиса. Наиболее плодотворным, как показало дальнейшее развитие событий, оказалось предложение Дж. Буля. В работе, впервые опубликованной в 1854 г., Буль отмечал, что

---

[121] *Гнеденко Б.В.* Развитие теории вероятностей в России// Труды института истории естествознания. Т. 2. М.; Л., 1948. С. 390.

[122] *Милль Дж.С.* Система логики. СПб., 1914. С. 490.

среди условий, на которых должны основываться претензии теории вероятностей на принадлежность к «чистой науке», первое место занимает следующее: «Принципы, на которых основаны ее (теории вероятностей) методы, должны быть аксиоматическими по своей природе»[123]. Однако до первых попыток реализации этого по истине пророческого предложения оставалось еще более полувека.

Конец XIX — начало XX в. — переломный этап в развитии теории вероятностей. Большинство ученых, продолжавших работать в рамках классической парадигмы теории вероятностей (среди них в Западной Европе выделялись Ж. Бертран и А. Пуанкаре), все более ясно осознавали ее недостатки, вскрывали их, указывая на их существенность и опасность для дальнейших перспектив развития этой науки. Тем самым в научном сообществе постепенно утверждалась необходимость в скорейшем переходе к новой парадигме, расширяющей область обоснованных приложений прежде всего за счет включения в ее рамки вероятностных представлений статистической физики, — к такой парадигме, которая была бы свободна от порочного круга классического определения вероятности (вероятность через равновероятность) и связанных с ним парадоксов (на них указывал, в частности, Бертран), к парадигме, обеспеченной прочными логическими основаниями.

Начало XX в. это и время крупных достижений аксиоматического метода. На его основе Д. Пеано, Д. Гильбертом и другим математиками были проанализированы и приведены в стройную систему арифметика и геометрия. Постепенно он стал проникать и в другие области математики, и за ее пределы (механика). Становилось ясным, что с помощью аксиоматического метода возможно логическое обоснование самых различных математических и естественно-научных теорий. Кроме того, укреплялось понимание того, что адекватная аксиоматизация теории на длительное время может обеспечить ее плодотворное развитие, что аксиомати-

[123] *Boole G.* Studies in logic and probability. L., 1952. P. 288.

ческий метод является методом как логического обоснования теории так и отыскания новых фактов.

Таким образом, логика развития науки постепенно приводила ученых, работавших в области теории вероятностей к пониманию того, что переход к новой парадигме наиболее эффективно может быть осуществлен через построение соответствующей аксиоматической системы. Эта система должна прежде всего удовлетворять двум требованиям: во-первых, быть логически непротиворечивой и, во-вторых, быть достаточно широкой, чтобы теория, построенная на ее основе, могла найти максимально широкую область обоснованных применений, по крайней мере в тех областях, где вероятностные представления и их количественные структуризации (как в классическом смысле, так и не укладывающиеся в классические рамки) находят плодотворное, признанное научным сообществом применение.

Но прежде чем непосредственно переходить к построению теоретико-вероятностной аксиоматики, необходимо было решить важнейшую философско-методологическую проблему: какое место занимает теория вероятностей в системе наук? Является ли она естественно-научной или математической дисциплиной? От ответа на этот вопрос существенным образом зависит выбор того или иного подхода к аксиоматизации теории, в частности уровня абстракции и идеализации, выбор множества неопределяемых понятий. Во всем своем значении перед исследователями встала проблема определения предмета теории вероятностей.

Корифей в области аксиоматического метода (никогда, впрочем, профессионально не занимавшийся проблемами теории вероятностей) Д. Гильберт высказался следующим образом: «С исследованиями по основаниям геометрии близко связана задача об аксиоматическом построении по этому же образцу тех физических дисциплин, в которых математика играет выдающуюся роль; это в первую очередь теория вероятностей и механика»[124]. В этих словах, произнесен-

[124] Проблемы Гильберта / Под ред. П.С. Александрова. М., 1969. С. 34.

ных на Международном конгрессе математиков в Париже в 1900 г., указывается путь аксиоматизации теории вероятностей как естественно-научной дисциплины. Именно по этому пути и пошел немецкий ученый Р. Мизес, впервые изложивший свои идеи в курсе лекций, прочитанных в 1914 г. в Страсбурге, и позднее в широко известной книге «Вероятность и статистика».

Надо отметить, что парадигма развития теории вероятностей, заложенная классическими работами Я. Бернулли и Лапласа, оказалась достаточно широкой и эффективной концепцией, в рамках которой удалось не только получить множество мощных математических результатов (законы больших чисел в различных формулировках, центральные предельные теоремы) и применить их к некоторым проблемам естествознания (например, для создания классической теории ошибок измерений), но и добиться такого уровня строгости математических доказательств в процессе проведения теоретико-вероятностных рассуждений, который в этом отношении приближал теорию вероятностей к другим математическим дисциплинам. Последнее было сделано главным образом в работах математиков Петербургской школы теории вероятностей — П.Л. Чебышева, А.М. Ляпунова и А.А. Маркова (старшего), творчество которых оказало несомненное влияние на формирование методологических взглядов С.Н. Бернштейна и А.Н. Колмогорова, создателей аксиоматик теории вероятностей как математической дисциплины.

«С методологической стороны основной переворот, совершенный Чебышевым, — писал позднее А.Н. Колмогоров, — заключается не только в том, что он впервые с полной настойчивостью выдвинул требование абсолютной строгости доказательства теорем (выводы Муавра, Лапласа и Пуассона были с формально-логической стороны совсем небезупречны, в отличие, впрочем, от Бернулли, который свою предельную теорему доказал с исчерпывающей арифметической точностью), но главным образом в том, что Чебышев всюду стремился получать точные оценки отклонений от предельных закономерностей, возможных хотя бы и при большом, но конечном числе испытаний в виде безусловно правильных при любом числе испытаний неравенств»[125]. Чебышев считал, что целью теории вероятностей является установление вероятностей одних событий по заданным вероятностям других: «Наука о вероятностях, — писал он, — известная под именем теории вероятностей, имеет предметом определение вероятности события по данной его связи с событиями, которых вероятности известны»[126]. Тем самым у Чебышева намечается отказ от включения теории вероятностей в рамки естествознания.

Действительно, при таком понимании предмета теории вероятностей основное внимание уделяется разработке методов перехода от одних вероятностей к другим. При этом поиск этих методов никоим образом не зависит от того, как были получены значения первичных уже заданных вероятностей. Общность математического метода формально структурных черт различных разделов теории вероятностей вне зависимости от конкретной природы областей ее применения еще более подчеркивались в работах Чебышева и его последователей едиными требованиями математической строгости, принципиально ничем не отличающимися от требований, предъявляемых к строгости математического доказательства в других областях математики.

Следует отметить, что определение вероятности по Чебышеву, в сущности, ничем не отличается от классического определения вероятности через равновозможности. При этом равновозможность у Чебышева, как и у Лапласа, определяется с использованием принципа недостаточности основания: «Если из определенного числа различных событий при известных обстоятельствах одно необходимо должно случиться и нет особенной причины ожидать какого-либо из этих событий преимущественно перед другими, то такие события отличаем названием *случаев* равновозможных»[127]. Характерно, однако, что в работах Чебышева и его последователей нет никаких попыток «моральных» примене-

---

[125] *Колмогоров А.Н.* Роль русской науки в развитии теории вероятностей// Учен. зап. МГУ. 1947. Вып. 91. С. 56.

[126] *Чебышев П.Л.* Полн. собр. соч. Т. 5. М.; Л., 1951. С. 29.

[127] Там же. С. 28.

ний теории вероятностей, связанных (как это было у Лапласа и Пуассона) с использованием классического определения вероятности. Это заслуживает внимания уже потому, что сам Чебышев обратился к теории вероятностей под влиянием горячих сторонников убеждения Лапласа в возможности «моральных» применений — Н.Д. Брашмана и А.Ю. Давидова[128]. Иммунитет Чебышева к необоснованным применениям теории вероятностей в общественной жизни обусловлен вопреки «классической» традиции его методологическими требованиями строгости и стремлением в процессе приложения теории получать точные оценки отклонений от предельных теорем, что в случае «моральных» приложений было недостижимо. Отметим также, что в отличие от Пуассона, ошибочно применявшего свою предельную теорему и к зависимым событиям, Чебышев не распространяет свои выводы на зависимые события, не определяя, впрочем, самого понятия независимости. Таким образом, методологические требования Чебышева в определенной мере нейтрализовывали неадекватные гносеологические основания классической теории вероятностей (вероятность — мера нашего незнания). «Устанавливая границы применимости основных теорем теории вероятностей, — писал Л.Е. Майстров, — Чебышев давал случайным величинам ясные и отчетливые математические характеристики, которые имели реальное содержание. Это позволяло в каждом конкретном случае решать вопрос о том, применимы ли к данным случайным величинам предельные теоремы»[129].

Представляется вполне закономерным, что математики, продолжавшие традиции Петербургской школы теории вероятностей, и в частности С.Н. Бернштейн, Е.Е. Слуцкий, А.Я. Хинчин и А.Н. Колмогоров, стояли на методологической позиции аксиоматизации теории вероятностей как математической дисциплины. «Значение работ Чебышева, Маркова и Ляпунова, — отмечал Колмогоров, — было оценено в Западной Европе лишь

---

[128] См.: *Шейнин О.Б.* Теория вероятностей П.С. Лапласа. С. 222.

[129] *Майстров Л.Е.* Теория вероятностей: Исторический очерк. М., 1967. С. 245.

с большим опозданием — в 20-х и даже 30-х гг. XX в. Теперь они всюду воспринимаются как исходный пункт всего дальнейшего современного развития теории вероятностей... Медленность усвоения идей Петербургской школы на Западе, может быть, отчасти объясняется тем, что школа стояла очень далеко от статистической науки. Мне не хотелось бы, однако, чтобы из последнего замечания получалось впечатление, будто работы Петербургской школы были лишены живого чувства связи с запросами математического естествознания. Но в силу отсталости русской физики второй половины XIX в. интересы математиков Петербургской школы не были направлены именно в эту, может быть наиболее интересную в смысле намечавшихся уже в их время перспектив применения теории вероятностей, сторону (работы Больцмана относятся к 1866—1898 гг.)»[130]. К сказанному Колмогоровым следует добавить, что применению математических результатов Петербургской школы препятствовала приверженность ученых классическому определению вероятности, тогда как, например, Больцман фактически опирался на статистическое понимание вероятности. Для дальнейшего развития теории вероятностей и ее приложений необходимо было существенно перестроить ее основания.

Именно в работах ученых Петербургской школы, в особенности в работах А.А. Маркова, в наиболее яркой форме проявлялось противоречие между уровнем абстракции и строгости теоретико-вероятностных математических построений и логически шатким «естественно-научным» по своему типу основанием теории, все еще базировавшимся на понятии равновозможности. Это противоречие было четко зафиксировано Е.Е. Слуцким в программной статье, опубликованной в 1922 г. В начале статьи он анализирует ставший уже к тому времени классическим курс «Исчисление вероятностей» А.А. Маркова. Отмечая, что в этом курсе исчисление вероятностей излагается как чисто математическая дис-

[130] *Колмогоров А.Н.* Роль русской науки в развитии теории вероятностей. С. 59.

циплина, он пишет: «Таково оно и есть в своем основном содержании, взятом независимо от приложений. Однако уже с самого начала входит в него один элемент, чисто математический характер которого весьма сомнителен, потому что всякое сколько-нибудь подробное истолкование его вовлекает мысль в инородную чистой математике сферу идей и проблем. Мы имеем в виду не что иное, конечно, как само понятие *вероятности*»[131]. А ведь речь идет о понятии, занимающем центральное место в теории и служащем фундаментом для дальнейших построений, подчеркивает Слуцкий.

В условиях проникновения аксиоматического метода в самые различные области математики подобное осознание возникшего методологического противоречия необходимым образом вело к его более или менее адекватному разрешению. Проблема аксиоматического обоснования теории вероятностей как *математической дисциплины* встала в повестку дня. И первое ее решение почти синхронно с Мизесом, но избравшим принципиально иной путь, предложил С.Н. Бернштейн.

При этом если Мизес аксиоматизировал теорию вероятностей как естественно-научную дисциплину, то Бернштейн, как позднее и Колмогоров, стоял на позиции аксиоматизации теории вероятностей как чисто математической дисциплины.

Аксиоматизация теории вероятностей

Первые работы Бернштейна по теории вероятностей относятся к 1911—1912 гг. «В этих первых работах, — замечают А.Н. Колмогоров и О.В. Сарманов в статье, написанной к 80-летию со дня рождения Бернштейна, — ...преобладают интересы чистого аналитика»[132].

В одной из этих работ Бернштейн, рассматривая теорию вероятностей в системе математической науки в целом, применяет вероятностные методы к доказатель-

---

[131] *Слуцкий Е.К.* К вопросу о логических основах исчисления вероятностей // Вестн. статистики. Кн. 12. М.,1922. С. 13.

[132] *Колмогоров А.Н.* Основные понятия теории вероятностей. М.; Л., 1936. С. 5.

ству одной из фундаментальных теорем математического анализа — теоремы Вейерштрасса. Когда ученый обращается к анализу оснований теории вероятностей и перед ним встает проблема ее аксиоматизации, то в соответствии с традициями Петербургской школы теории вероятностей он осуществляет построение ее аксиоматических основ, трактуя данную теорию как математическую дисциплину. Отсюда следует требование Бернштейна строго математического определения основных понятий аксиоматической системы. Поэтому подход Мизеса, основанный на полуэмпирическом определении основных понятий теории вероятностей, не мог не быть совершенно чуждым ему.

Казалось бы, перед Бернштейном, а позднее и перед Колмогоровым стояла уже чисто техническая математическая проблема: выбрать (или создать) подходящий математический аппарат для искомой системы аксиом и построить на ее основе все здание теории вероятностей. Однако это не совсем так, хотя, как отмечал Колмогоров, до создания определенных математических средств, а именно Лебеговой теории меры и интеграла, создание плодотворной аксиоматики теории вероятностей было делом почти безнадежным[133]. Ведь не приходится сомневаться в том, что такой крупный математик, как Бернштейн, знал не только теорию Лебеговой меры, но и был знаком с пионерской работой Бореля, в которой в явном виде была показана роль Лебеговой меры и интеграла в теории случайных величин[134]. Тем не менее Бернштейн создает свой математический аппарат для построения аксиоматики, который, с современной точки зрения, «описывается в терминах нормированной булевой алгебры предложений»[135].

Методологические основы своего подхода к аксиоматизации теории вероятностей Бернштейн достаточно четко изложил в выступлении на первом Всероссий-

---

[133] См.: *Колмогоров А.Н.* Основные понятия теории вероятностей. С. 5.

[134] См.: *Полищук Е.М.* Эмиль Борель. Л., 1980. С. 93.

[135] *Линник Ю.В.* Теория вероятностей и математическая статистика//Математика в Петербургском-Ленинградском университете. Л., 1970. С. 245.

ском съезде математиков в 1927 г. «Чисто математическая теория вероятностей, — говорил он, — может не интересоваться тем, имеет ли коэффициент, называемый математической вероятностью, какое-нибудь практическое значение, субъективное или объективное. Единственное требование, которое должно быть соблюдено, — это отсутствие противоречий, а именно: различные способы вычисления указанного коэффициента при данных условиях и соблюдении принятых аксиом должны приводить к одному и тому же значению. Кроме того, если мы хотим, чтобы выводы теории вероятностей были не простой игрой ума, а допускали эмпирическую проверку, то необходимо рассматривать только такие совокупности предложений или суждений, относительно которых возможно фактически установить, истинны они или ложны»[136].

Если для Колмогорова основным принципом аксиоматизации теории вероятностей является, как мы видели, выделение тех ее элементов, которые обусловливают ее внутреннюю логическую структуру, будучи совершенно не связанными с эмпирической интерпретацией теории, то Бернштейн прежде всего стремился к другой цели, а именно, говоря словами Колмогорова, «по возможности к наиболее тесному смыканию математической теории с эмпирическим возникновением понятия вероятности»[137]. Именно в этом стремлении следует видеть основную причину исторической ограниченности аксиоматической системы Бернштейна, в особенности после того, как у нее появился конкурент в лице теоретико-мерной аксиоматики.

Первое издание фундаментального курса теории вероятностей Бернштейна с изложением аксиоматики вышло в 1927 г., еще до появления «аксиоматики Колмогорова». В 1934 и 1946 гг., уже после опубликования работы Колмогорова «Основные понятия теории вероятностей», Бернштейн осуществляет переиздания своей книги с большими дополнениями. В этих работах он

---

[136] *Бернштейн С.Н.* Современное состояние теории вероятностей. М.; Л., 1933. С. 6.

[137] *Колмогоров А.Н.* Основные понятия теории вероятностей. С. 10.

продолжает отстаивать свою аксиоматику, имея в виду, по-видимому, ее большую прозрачность по сравнению с аксиоматикой Колмогорова и еще не исчерпанные возможности для широких приложений теории, построенной на фундаменте выдвинутых им еще в 1917 г. аксиом. Говоря об исторической ограниченности аксиоматики Бернштейна, необходимо отдать должное как его вкладу в решение проблемы логического обоснования теории вероятностей, так и деятельности в области приложений теоретико-вероятностных методов в естествознании и технике. «На математических съездах в Москве (1927 г.) и Цюрихе (1932 г.), — отмечали позднее А.Н. Колмогоров и О.В. Сарманов, — Сергей Натанович выступает с обзорными докладами о проблемах теории вероятностей... Для этого времени столь широкая постановка работ по всем основным теоретическим и прикладным вопросам теории вероятностей была еще делом совершенно новым. В некоторой мере с ней может сравниться лишь деятельность Мизеса и его сотрудников в Берлине, развивавшаяся в те годы»[138].

Становление нового этапа в развитии теории вероятностей, связанного прежде всего с именем Колмогорова, было обусловлено в числе прочего выработкой принципиально новых методологических установок. Дело в том, что выбор той или иной формальной структуры для системы аксиом теории вероятностей зависел от решения непростой методологической проблемы, которая, с одной стороны, является общей проблемой методологии математики, а с другой — очень остро стоит именно в связи с теорией вероятностей, так как требования многообразных приложений имеют очень важное, если не сказать определяющее, значение для ее развития. Эту проблему можно сформулировать следующим образом: каков должен быть уровень математической абстракции аксиоматической системы, чтобы построенная на ее основе теория находила как можно более широкие области эффективных приложений? Представляется, что в самом общем случае, по отноше-

[138] *Колмогоров А.Н., Сарманов О.В.* Указ. соч. С. 216.

нию к любой математической теории эта проблема не имеет единого, сколько-нибудь удовлетворительного решения. Однако для теории вероятностей в конкретных условиях ее развития в 20—30-е гг. наиболее адекватное решение этой проблемы было предложено Колмогоровым, который использовал достаточно абстрактный и в кругах естествоиспытателей тогда почти неизвестный аппарат теории меры для построения аксиоматики теории вероятностей. Этим, как показало дальнейшее развитие науки, было обеспечено не только невиданное развитие математической теории вероятностей (теория случайных процессов и т. п.), но и существенное расширение областей ее эффективного применения.

Подход к решению указанной методологической проблемы в отношении теории вероятностей был в общих чертах (без указания на аппарат теории меры) намечен Е.Е. Слуцким в статье «К вопросу о логических основах исчисления вероятностей». Говоря о необходимости создания абстрактной аксиоматической системы для теории вероятностей, он приводит в качестве примера абстрактную теорию групп, отмечая, что «одна из ее наиболее сильных сторон — *формальная чистота и многообразие приложений* (курсив наш. — *Авт.*)»[139].

Чувство соразмерности между формальной чистотой (или высотой уровня абстракции) теории и многообразием ее приложений — одна из существенных черт методологических воззрений Колмогорова. Разумеется, искомая математическая система должна прежде всего математически структурировать вероятностные представления, использующиеся в математической теории вероятностей, а также в тех областях науки, где их активное использование не охватывалось теорией из-за узости ее оснований. При этом в принципе возможно построение нескольких аксиоматических систем, удовлетворяющих этому безусловному требованию в данный момент времени. Однако чем более абстрактна выбранная система аксиом, чем более свободна она

[139] *Слуцкий Е.К.* К вопросу о логических основаниях теории вероятностей. С. 16.

от тех или иных особенностей конкретных задач, чем более глубокие структуры она охватывает, тем больше возможностей открывается для получения в теории далеко идущих мощных математических результатов, тем шире и разнообразнее области потенциальных приложений. В связи с этим примечательно, что построению «аксиоматики Колмогорова» предшествовало освобождение теории меры и интегрирования «от геометрических элементов, которые еще имелись у Лебега»[140], осуществленное в работах Фреше.

Различие исходных методологических принципов построения аксиоматики у Колмогорова и Бернштейна обусловило также различный выбор ими основных (неопределяемых) понятий теории. В монографии, содержащей такую аксиоматику, Колмогоров следующим образом обосновывает свой выбор: «Аксиоматизация основ теории вероятностей может быть проведена различными способами как в отношении выбора аксиом, так и выбора основных понятий и основных соотношений. Если преследовать цель возможной простоты (читай — формальной чистоты. — *Авт.*) как самой системы аксиом, так и построения из нее дальнейшей теории, то наиболее целесообразным является аксиоматизирование понятий случайного события и его вероятности»[141].

Действительно, наиболее удачная аксиоматизация математической теории (с точки зрения обеспечения максимального богатства внутреннего содержания независимо от возможных приложений) достигается тогда когда наиболее фундаментальные понятия теории становятся неопределяемыми понятиями (т. е. их свойства описываются через аксиомы). Однако стремление Бернштейна построить систему аксиом как можно более непосредственно соответствующую схеме, по которой происходят вероятностные рассуждения в естествознании[142], приводит его (как ранее Лапласа, а позднее и Мизеса) к необходимости определять чис-

[140] *Колмогоров А.Н.* Основные понятия теории вероятностей. С. 5.
[141] Там же. С. 9 – 10.
[142] См.: *Бернштейн С.Н.* Теория вероятностей. М.; Л., 1946. С. 7.

ленное значение вероятности внутри теории. (У Колмогорова численное значение исходных вероятностей определяется вне математической теории вероятностей, поскольку понятие вероятности является неопределяемым.) Поэтому если у Колмогорова основными понятиями являются понятия случайного события и его вероятности, то у Бернштейна основным объектом аксиоматики является лишь понятие случайного события.

Изложение своей аксиоматики, построенной «на понятии качественного сравнения событий по их большей или меньшей вероятности»[143], Бернштейн предваряет рядом общих замечаний методологического характера. «Основное допущение теории вероятностей (постулат существования математической вероятности) состоит в том, — писал Бернштейн, — что существуют такие комплексы условий β, которые (теоретически, по крайней мере) могут быть реализованы неограниченное число раз и при наличии которых в данном опыте наступление факта А имеет определенную вероятность, выражающуюся числом»[144]. Бернштейн настаивал на неправомерности априорного определения вероятности события, основанного лишь на принципе недостаточного основания: «Опыт имеет решающий голос в вопросе о том, возможно ли при осуществлении данного комплекса условий β и полной неопределенности прочих обстоятельств приписать факту А определенную вероятность»[145]. Бернштейн, как видно из этих цитат, не проводил четкого различения между самой математической теорией вероятностей и интерпретационной схемой, служащей для ее различных приложений. В приведенных высказываниях, содержащих фактически актуальные и сегодня основные условия, при которых возможно применение математической теории вероятностей, ученый использовал понятия и символы, участвующие затем в формулировках определений и аксиом самой теории.

---

[143] *Колмогоров А.Н.* Роль русской науки в развитии теории вероятностей. С. 8.

[144] *Бернштейн С.Н.* Теория вероятностей. С. 8.

[145] Там же.

Бернштейн выдвигает три аксиомы для описания свойств системы основных абстрактных объектов теории (случайных событий): аксиому сравнения результатов, аксиому о несовместимых событиях и аксиому совмещения событий. Первые две аксиомы предполагают неизменность комплекса условий β. Последняя аксиома связывает вероятности события A при разных комплексах α и β. Аксиомы определяют соотношения равнозначности, включения и алгебраические действия над событиями (объединение и совмещение). При этом особо определяются (разумеется, а рамках данной системы аксиом) достоверное и невозможное события. Достоверным называется такое входящее в рассматриваемую систему событие Ω, объединение с которым любого другого события A равнозначно первому, т. е. самому событию Ω. Невозможным называется такое событие, объединение с которым для любого события A равнозначно событию A[146].

Из первых двух аксиом Бернштейн выводит следующее утверждение: «Если событию x благоприятствует m случаев из общего числа всех n единственно возможных, несовместимых и равновероятных случаев, то вероятность события x зависит только от чисел m и n (а не от природы рассматриваемого опыта), т. е. вер. $x = f(m,n)$, где $f(m,n)$ есть некоторая определенная функция»[147]. Выдвинутым аксиомам, замечает далее Бернштейн, удовлетворяет не каждая функция от аргументов m и n, но лишь монотонно возрастающая функция дроби m/n. В принципе с чисто математической точки зрения любую такую функцию $f(m,n)$ можно принять за вероятность события x. В соответствии с общепринятым в теории вероятности соглашением Бернштейн полагает $f(m,n)$ равной m/n.

Совершенно справедливо подчеркивая чисто математический характер своей аксиоматической системы, Бернштейн, как уже отмечалось, при ее построении использует в числе прочих и внематематические соображения, игнорируя то важное обстоятельство, что

---

146 *Бернштейн С.Н.* Теория вероятностей. С. 8 – 13.

147 Там же. С. 13.

наиболее плодотворная аксиоматизация в математике обеспечивается правильным выбором неопределяемых понятий. Этот выбор происходит в соответствии с оценкой фундаментальности данных понятий в структуре теории. Для теории вероятностей среди основных (неопределяемых) понятий системы аксиом, составляемых исключительно на основе соображений математической эффективности (формальной простоты, говоря словами Колмогорова), необходимо должно присутствовать понятие вероятности.

Заканчивая анализ аксиоматики Бернштейна, отметим, что методологические изъяны его подхода привели как к громоздкости его системы аксиом, так и к ограниченности возможностей ее применений. Как отмечал Л.Я. Майстров, «давать различные интерпретации аксиомам Бернштейна очень неудобно, а в отдельных случаях и невозможно, так как эти аксиомы еще не полностью формализованы»[148].

Основные положения теории вероятностей с аксиоматикой Колмогорова выглядят следующим образом. Рассматривается вероятностное пространство Ω с σ алгеброй подмножеств F и счетно-аддитивной нормированной на единицу мерой P на этой σ алгебре. Случайным событием называется любое множество из σ алгебры, а его вероятностью — его мера. На основе аксиом, описывающих случайное событие и его вероятность, случайная величина определяется как измеримая функция на пространстве элементарных событий (пространство элементарных событий Ω — это множество, являющееся носителем вероятностного пространства). «Теория вероятностей как математическая дисциплина, — писал Колмогоров, предваряя изложение своей аксиоматики, — может и должна быть аксиоматизирована в том же смысле, как геометрия или алгебра (ср. с Мизесом, у которого вместо слова «алгебра» стоит механика». — *Авт.*). Это означает, что после того как даны названия изучаемым объектам и их основным отношениям, а также аксиомы, которым эти отношения должны подчиняться, все дальнейшее развитие долж-

[148] *Майстров Л.Е.* Развитие понятия вероятности. С. 238.

но основываться исключительно на этих аксиомах, не опираясь на обычное конкретное значение этих объектов и их отношений»[149]. А так как всякая абстрактная аксиоматическая теория допускает бесконечное число интерпретаций, то и математическая теория вероятностей должна допускать «наряду с теми интерпретациями, из которых она возникла, также много других. Так мы приходим к приложениям теории вероятностей к таким областям науки, которые не имеют отношения к понятиям случая и вероятности в собственном смысле слова»[150].

Возможность большого множества различных интерпретаций аксиоматики Колмогорова связана прежде всего с высокой степенью абстрактности и формализованности системы. При этом нельзя не отметить, что платой за высокую абстрактность теоретико-мерной аксиоматики, обеспечившей получение далеко идущих математических результатов и многообразие приложений, являются неизбежные трудности интерпретационного характера, возникающие в процессе применения теории к решению конкретных проблем. Прав Д.Дж. Стрьюк, отмечавший, что «затруднения в вопросе о связи между формальной теорией, опирающейся на теорию меры, и экспериментальными результатами заставили многих математиков совсем отбросить этот подход и подойти к вопросу совершенно заново»[151].

В свете вышеизложенного становится ясно, почему в книге, посвященной изложению теории вероятностей как чисто математической дисциплины, Колмогоров помещает специальный раздел под названием «Отношение к данным опыта», в котором он пытается описать интерпретационную схему применения теории вероятностей.

Казалось бы, можно считать, что вопросы применения теории вероятностей относятся к частным научным дисциплинам, изучающим явления, для которых строятся искомые вероятностные модели. Однако вы-

---

[149] *Колмогоров А.Н.* Основные понятия теории вероятностей. С. 9.
[150] Там же.
[151] *Стрьюк Д.Дж.* Указ. соч. С. 85.

ясняется, что при применении теоретико-вероятностных методов в самых различных областях науки возникают сходные по характеру проблемы, решение которых достигается методами, общими для разных сфер применения. Поэтому естественно, что изложение собственно математической теории вероятностей желательно было бы дополнить описанием методологических установок по применению теории.

Приступая к описанию своей интерпретационной схемы и замечая, что он сознательно оставляет в стороне «глубокие философские изыскания о понятии вероятности в мире опыта», Колмогоров считает важным подчеркнуть, что «в изложении необходимых предпосылок для приложимости теории вероятностей к миру действительных событий автор в значительной мере следует выводам Мизеса...»[152]. Хочется обратить особое внимание на это замечание Колмогорова, показывающее, что в отличие от многих математиков — сторонников теоретико-мерной аксиоматики (например, Хинчина), Колмогоров уже тогда осознавал важность мизесовского подхода для перспективы создания прозрачной интерпретационной схемы, отвергая, разумеется, претензии этого подхода, на то, чтобы служить логической основой теории вероятностей. Проблемы, возникающие при применении теоретико-мерной теории вероятностей, могут быть следующими: имеет ли место вероятностная ситуация? как выбрать вероятностное пространство? каким образом по найденным вероятностям каких-то событий, т. е. по мерам некоторых множеств сделать предсказания о реальном ходе событий? Методологические установки Колмогорова по применению математической теории к реальным явлениям вероятностного характера направлены как раз на решение указанных проблем.

Предложенную в 1933 г. интерпретационную схему нельзя назвать безупречной. Высокий уровень абстрагированности теории от реальных ситуаций, требующих теоретико-вероятностного анализа, в частности

---

[152] *Колмогоров А.Н.* Основные понятия теории вероятностей. С. 11 (сноска 1).

невозможность во многих случаях придать реальный смысл пространству элементарных событий, его элементам, другим компонентам вероятностного пространства, понять взаимосвязь реального случайного события с измеримым подмножеством — все это существенно затуманивает взаимоотношения между случайными явлениями в природе и их теоретическими моделями. Интерпретационные трудности усугублялись при использовании аксиомы непрерывности для бесконечных полей вероятностей, не допускавшей удовлетворительного эмпирического толкования. «Так как новая аксиома, — писал Колмогоров, — существенна лишь для бесконечных полей вероятностей, то является почти невозможным разъяснить ее эмпирическое значение... При описании какого-либо действительно наблюдаемого случайного процесса можно получать только конечные поля вероятностей. Бесконечные поля вероятностей появляются только как идеализированные схемы действительных случайных явлений...»[153]

Другие серьезные трудности интерпретационного характера связаны с тем, что с помощью теории Колмогорова, как, впрочем, и теории Мизеса, так как она тоже включает в себя существенные идеализации, невозможно без дополнительных допущений дать гарантированные предсказания фактического хода событий[154]. Само по себе это совершенно естественно, ибо математическая теория не предназначена для непосредственной выработки определенных прогнозов. Однако дело в том, что дополнительные допущения, позволяющие делать предсказания с помощью математических выводов, отнюдь не лежат на поверхности. Например, не может быть принято допущение о том, что событие с вероятностью, меньшей, скажем, 0,0000000001, никогда не происходит. Допустим, мы имеем последовательность результатов из серии

[153] *Колмогоров А.Н.* Основные понятия теории вероятностей. С. 23.

[154] Для аксиоматики Колмогорова это совершенно очевидно, тогда как в случае естественно-научной по своему характеру аксиоматики Мизеса существует большой соблазн поверить в то, что на ее основе можно делать гарантированные предсказания, хотя это и не так.

100 бросаний симметричной монеты. Ясно, что для любой такой последовательности вероятность ее выпадения меньше указанного числа. Следовательно, наше исходное допущение противоречит самому факту выпадения этой последовательности. Также не видно никакого пути преодоления трудностей, связанных с тем, что не удается явно сформулировать в каждом данном случае конкретно научный закон, выполнение которого интерпретационная схема рассматривала бы как гарантию адекватности теоретико-вероятностной модели и правильности ее предсказаний. В свете этих трудностей, связанных с высоким уровнем абстракции используемого математического формализма, неудивительно недоверие к возможностям вновь созданной аксиоматики не только большей части естествоиспытателей, но и ряда крупных математиков, таких, например, как Э. Борель.

Отметим, что Колмогоров, а также и другие сторонники теоретико-мерной аксиоматики, среди которых были такие крупные ученые, как Леви, Хинчин, Крамер, осознавая упомянутые интерпретационные проблемы, не считали связанные с ними трудности соизмеримыми с возможностями аксиоматики для развития теории вероятностей и ее приложений. Эта точка зрения оказалась исторически оправданной, ибо наибольшие на сегодняшний день успехи приложений теории вероятностей связаны с теми ее построениями, которые осуществлены на теоретико-мерной аксиоматической основе. Это не означает, разумеется, невозможности создания новых, более совершенных аксиоматических систем, так как, говоря словами Колмогорова, ни существующие сейчас «аксиомы, ни классический подход к вероятности, ни статистический подход не дают исчерпывающего определения реального содержания понятия вероятности; они являются лишь известными приближениями ко все более полному его раскрытию»[155]. При этом следует особо подчеркнуть стремление Колмогорова создать перспективную, жизнеспособную тео-

[155] *Колмогоров А.Н.* Вероятность// БСЭ. 3-е изд. Т. 4. М., 1971. С. 544.

рию, обеспечивающую удовлетворение потребностей новейших областей естествознания. Об этом свидетельствуют его внимательное отношение в этот период к развитию физического познания и, в частности, его статья, написанная тогда в сотрудничестве о физиком М. Леонтовичем, и указание на то, что ряд новых идей и понятий, имеющих очень важное значение для развития теории на основе теоретико-мерной аксиоматики, с необходимостью возникают при исследовании конкретных физических проблем[156]. В этой же связи следует упомянуть и вышедшую в свет в 1931 г. работу Колмогорова «Аналитические методы в теории вероятностей», в которой были заложены основы современной теории марковских случайных процессов и выявлены глубокие связи теории вероятностей с теорией дифференциальных уравнений (обыкновенных и в частных производных). Результаты, опубликованные в этой статье и полученные в ходе исследований по созданию математически и логически обоснованной, богатой приложениями теоретико-вероятностной концепции, фактически знаменовали появление новой области математики с многочисленными выходами в практику. «Она была подхвачена представителями физики и биологии, химии и инженерного дела и быстро превратилась в одно из самых мощных математических орудий современного естествознания»[157].

Таким образом, несмотря на существенные интерпретационные трудности, теория вероятностей, воздвигнутая на прочном логическом фундаменте «аксиоматики Колмогорова», с момента своего появления становится в ряд эффективно применяющихся в науке математических концепций. Однако многие современные математики по-прежнему продолжают разрабатывать различные интерпретации этой теории, позволяющие максимально расширить область ее эффективного применения. Эти поиски приводят к постановке важных философских проблем, без удовлетворитель-

---

[156] См.: *Колмогоров А.Н.* Основные понятия теории вероятностей. С. 5—6.

[157] *Боголюбов Н.Н.*, *Гнеденко Б.В.*, *Соболев С.Л.* Указ. соч. С. 14.

ного решения которых теория вероятностей вряд ли может считаться хорошо обоснованной математической дисциплиной.

Гносеологический анализ «вероятности»

Одной из важных функций философии по отношению к науке является гносеологический анализ ее основных категорий. Целями такого исследования являются:

- определение точного значения этих категорий;
- выявление основных контекстов их употребления в научном языке;
- установления множества различных способов (интерпретаций), в которых используется та или иная категория;
- рассмотрение логического соотношения различных ее интерпретаций на предмет возможного сведения одних интерпретаций к другим или к одной из них, как к наиболее «законной» и универсальной;
- определение условий истинности высказываний, в которых встречается данная категория.

В этом плане несомненный интерес для философии науки представляет такая фундаментальная категория математики, естествознания и социально-гуманитарных наук, как «вероятность». Это связано, с одной стороны, с тем особым местом, которое занимают теория вероятностей и математическая статистика в структуре математического знания, а с другой — с чрезвычайно широким использованием языка этих теорий во всех современных научных исследованиях как прикладного, так и теоретического характера (статистическая физика, квантовая механика, биология, химия, социология, медицина, экономика, юриспруденция, информатика, логика и др.) Главную гносеологическую трудность для обоснования правомерности вероятностных суждений (высказываний о вероятности) представляет решение вопроса о том, применимо ли к вероятностным суждениям понятие доказуемой истины и если да, то при каких условиях и для каких интерпретаций «вероятности»?

Понятие «вероятность» всегда было объектом пристального внимания со стороны выдающихся математиков и философов. Большой вклад в его философский анализ внесли такие ученые, как П. Лаплас, П. Ферма, Дж. Венн, Р. Мизес, Г. Рейхенбах, А. Реньи, А.Н. Колмогоров, А.Я. Хинчин, Б.В. Гнеденко, Р. Карнап, К. Поппер, Б. де Финетти, Л. Сэвидж, и др. Однако до сих пор не утихают дискуссии об основных определениях и интерпретациях вероятности, их законности и универсальности.

Среди множества различных интерпретаций вероятности можно выделить пять основных. Это:

- классическая (вероятность как отношение благоприятных случаев наступления какого-либо события к числу всех возможных случаев);
- частотная (вероятность как частота появления событий одного класса среди событий другого класса);
- логическая (вероятность как степень логического подтверждения некоторой гипотезы данными);
- диспозиционная (вероятность как объективная степень возможности наступления некоторого события при определенных условиях);
- субъективная (вероятность как степень уверенности субъекта в истинности высказывания или в наступлении некоторого события).

Рассмотрим содержание каждой из них, возможности и трудности их универсального истолкования и обоснования.

Анализ различных концепций вероятности целесообразно начать (и с исторической, и с логической точек зрения) с рассмотрения классической концепции вероятности. Первые попытки ее систематической разработки относятся к XVIII в. и связаны с именами Б. Паскаля, П. Ферма, Х. Гюйгенса, Я. Бернулли и др. Роль первой «лаборатории» при создании классической теории вероятностей сыграла, как известно, проблема расчета шансов игроков в классических азартных играх (карты, игральная кость, рулетка и др.). Законченное выражение классическая теория вероятностей получила в работах известного французского математика и механика П.С. Лапласа[158], в которых он попытался обосновать ее применимость к огромному кругу научных проблем, как средства рациональной оценки истинности естественно-научных и социальных гипотез (например, в физике, судопроизводстве и др.). Необходимость широкого использования вероятностных высказываний в науке и практических делах обусловлена, по Лапласу, тем, что в подавляющем числе случаев люди не располагают абсолютно полной объективной информацией о предметах своего суждения и действия. Вероятность и есть количественная оценка степени этой информированности (степени объективности знания).

Согласно классическому определению, вероятность есть отношение благоприятных наступлению определенного события возможностей (случаев) к числу всех возможностей (случаев). При этом все возможности являются равными (равновозможными): $p = m/n$, где p — вероятность интересующего нас события, m — число благоприятных возможностей для его наступления, n — число всех возможностей (и благоприятных, и неблагоприятных). Например, если мы имеем игральную кость, имеющую шесть граней, помеченных соответствующими цифрами от 1 до 6 и выпадение кости на каждую из ее граней является равновозможным, то, согласно классическому определению вероятности, вероятность ее выпадения на любую из граней в следующем броске равна 1/6. Можно сказать и по-другому: вероятность истинности гипотезы «В следующем броске кость выпадет на грань с цифрой 1» равна 1/6. Правила классической теории вероятностей позволяли по известным вероятностям элементарных событий (исходным вероятностям) находить (вычислять) вероятности наступления сколь угодно сложных событий, состоящих из определенного количества элементарных (производные вероятности). Это же правило распространялось и на оценку степени истинности гипотез о наступлении различных сложных событий. Возможность применения

[158] См.: *Лаплас П.С.* Опыт философии теории вероятностей. М., 1908.

классической концепции вероятности к оценке истинности гипотез о любых событиях, даже единичных и уникальных (например, исторических или социальных), считалась одним из главных ее достоинств.

Основные трудности в применении и обосновании классической концепции вероятности связаны с вопросом определения (критерием) равновозможности реальных случаев. Обычно (например, у Лапласа) равновозможности определяются с помощью так называемого «принципа индифферентности» или принципа недостаточного основания (бинарную оппозицию одного из главных принципов дедуктивной логики — принципа достаточного основания). Согласно этому принципу, два или больше случая являются равновозможными, если мы не располагаем информацией (если у нас нет рациональных оснований) для предпочтения наступления одного случая скорее, чем другого. Или, как говорили в XVIII в., если наше невежество относительно рассматриваемых случаев распределено поровну.

Однако в такой сильной форме принцип индифферентности может приводить к логическим противоречиям. Так, допустим, нам известно, что наша игральная кость «нечестная» (со смещенным центром тяжести относительно ее сторон), но мы не знаем, в какую сторону смещен этот центр. Тогда в соответствии с принципом индифферентности мы вправе заключить, что в следующем броске наша игральная кость либо выпадет на 1, либо не выпадет, поскольку у нас нет рациональных оснований для предпочтения одной из данных гипотез. В таком случае вероятность выпадения кости на 1 мы должны оценить как равную 1/2. Но точно такое же рассуждение мы можем осуществлять и в отношении любой другой грани, например 2, ибо наша кость либо выпадет на 2 в следующем броске, либо не выпадет. Третьего не дано. И наше знание («незнание») распределено также поровну в отношении обеих этих гипотез. Таким образом, и вероятность выпадения кости на 2 мы также должны оценить в соответствии с принципом индифферентности как равную 1/2. Но тогда в соответствии с правилом сложения вероятностей мы должны заключить, что вероятность выпадения данной кости в следующем броске либо на 1, либо на 2 равна 1/2 + + 1/2 = 1. Это означает, что вероятность ее выпадения на оставшиеся грани равна 0. Но это будет противоречить применению того же самого принципа индифферентности к рассуждениям об оставшихся гранях, которое будет давать для них также положительное значение, а именно 1/2. Налицо противоречие.

Попытки избавиться от трудностей, связанных с использованием принципа индифферентности в качестве критерия определения равновозможности случаев путем использования, например, критерия существования абсолютной физической симметрии для равновозможных событий (например, путем утверждения абсолютной симметрии сторон «честной» игральной кости по отношению к своему центру тяжести, либо возможности воспроизведения абсолютно одинаковых физических условий для каждого ее подбрасывания) также не свободны от трудностей. Дело в том, что применение принципа идеальной физической симметрии к реальным событиям всегда может быть реализовано лишь приблизительно и требует дополнительной (вероятностной) оценки степени этого приближения к идеальной симметрии. С другой стороны, очевидно, что, если считать, что понятие «вероятность» применимо только к рассуждениям о равновозможных случаях, тогда область применения теории вероятностей резко сужается по отношению к реальной действительности, ибо в подавляющем числе реальных ситуаций мы имеем дело как раз с неравновозможными случаями.

Трудности, возникающие в связи с определением вероятности через принцип индифферентности, явились основанием резкой критики классической концепции вероятности. Первую систематическую критику классического определения вероятности можно найти уже в работах Дж. Венна, одного из создателей частотной интерпретации вероятности. В адрес классической концепции вероятности Дж. Венн выдвинул три основных обвинения: 1) слишком узкая база применения; 2) наличие логического круга в самом определении; 3) априоризм и субъективизм этой концепции.

Среди трех основных возражений классической теории вероятности, которые были выдвинуты Венном и другими частотниками, сегодня лишь первое признается имеющим известную силу. С точки зрения современной методологии науки очень важно различать теорию и ее интерпретацию, ее применение к действительности. С позицией этого методологического различения утверждения самой классической теории вероятности, как и утверждения любой теории, непосредственно относятся не к реальным объектам (например, к реальным монетам, костям и т. д.), а к идеальным, т. е. к таким, которые теоретически предполагаются абсолютно симметричными и в отношении которых мы можем говорить о равновозможности. Какова же природа равновозможности и что считать равновозможным в действительности? Эти вопросы лежат уже за пределами теории вероятности как теории, хотя, безусловно, имеют первостепенное значение при ее применении. Ясно, что поскольку реальные эмпирические объекты могут лишь приблизительно совпадать с идеальными объектами классической теории вероятностей, постольку ее предсказания относительно их вероятности также могут реализовываться в опыте лишь приблизительно и будут тем точнее, чем больше реальные объекты будут соответствовать идеальным объектам теории. Более того, как показало развитие теории вероятности, классическое определение вероятности может быть одинаково успешно истолковано и использовано представителями самых различных интерпретаций вероятности: и как мера познания, и как частота, и как степень выводимости, и как степень разумной уверенности, и как мера физической возможности. В силу этого многие современные исследователи вообще склонны трактовать классическое определение вероятности не как определение в строгом смысле слова, а лишь как способ вычисления вероятности в некоторых весьма простых ситуациях. Как справедливо писал А. Реньи в «Письмах о вероятности», «на вопрос, что такое вероятность, оно не отвечает, а дает лишь метод вычисления в простейших случаях»[159].

[159] *Реньи А.* Трилогия о математике. М., 1970. С. 81.

Одной из наиболее распространенных на сегодня интерпретаций вероятности является *частотная*. Как и классическая концепция, она имеет некоторое основное ядро, которое в процессе эволюции частотной теории вероятности принимало у разных авторов различные модификации. Интерпретация вероятности как частоты имела место уже у Аристотеля, который называл вероятными событиями те, которые происходят в большинстве случаев. Однако только в конце XIX — начале XX в. (в связи с бурным развитием естествознания и все более широким использованием в нем различных статистических методов) частотная концепция вероятности получила в трудах Дж. Венна, Р. Фишера, С. Пуассона, Р. Мизеса и Г. Рейхенбаха свое систематическое развитие. Все эти авторы, несмотря на известные различия в предложенных ими вариантах построения частотной теории вероятностей, были едины в одном: только частотная интерпретация вероятности является единственно правильной и отвечает потребностям и духу науки.

Согласно этой интерпретации, вероятность P (A,B) характеризует относительную частоту появления случаев одного класса (A) среди случаев другого класса (B). Как находится это относительная частота? Если величина каждого из классов известна, тогда она находится просто: $P(A/B) = (A \cdot B)/B$. Например, если в каком-то городе, насчитывающем 100 тысяч жителей, проживает 10 тысяч иностранцев, тогда вероятность жителю этого города быть иностранцем равна $10/100 = 1/10$. Однако как в науке, так и в повседневной жизни мы редко встречаемся с такими ситуациями. Обычно нам приходится иметь дело либо с конечными классами, величина которых неизвестна, либо с так называемыми «открытыми» классами, т. е. классами, число элементов которых может меняться. К числу последних можно отнести, например класс рождения мальчиков, девочек, подбрасывание монеты, кости, появление публикаций на определенную тему и т. д. Перед сторонниками частотной интерпретации вероятности встает вопрос: как в случаях открытых классов определять частоту и соответственно вероятность? Единственно возможным способом нахождения относительной частоты представляется здесь экстраполяция значения частоты, найденного для образца такого класса, на весь класс. Однако тогда частотная концепция вероятности начинает сталкиваться с известными трудностями. В самом деле, если величину относительной частоты в каком-либо классе определять путем отождествления ее с частотой одного из его образцов, тогда разные образцы будут, вообще говоря, приводить к разным значениям вероятности для одного и того же класса.

Для того чтобы избежать этих трудностей, Р. Мизес и Г. Рейхенбах предложили так называемое «предельно-частотное» определение вероятности. Согласно этому определению, вероятность есть предел последовательности относительных частот, получаемых в образце, когда последний становится все больше и больше. Например, если имеется следующая последовательность испытаний при подбрасывании монеты ОООРООРРРРРООР... и нас интересует вероятность выпадения «орлов» в этой последовательности, тогда данная вероятность будет равна пределу последовательности 1\1, 2\2, 3\3, 3\4, 4\5, 5\6, 5\7, 5\8 ... каждый член которой представляет собой относительную частоту выпадения «орлов» в образце из одного, двух, трех, четырех, пяти и т. д. испытаний. Однако поскольку в математике понятие предела употребляется лишь в связи с бесконечными последовательностями, постольку на языке математики предельно-частотное определение вероятности записывается так:

$$P = \lim_{n\to\infty} (m/n),$$

где n стремится к бесконечности. Но тогда очевидно, что непосредственно оно относится не к реальным эмпирическим последовательностям, с которыми мы актуально имеем дело в опыте и которые всегда конечны, а к некоторым бесконечным последовательностям, являющихся идеализациями первых. Этот важный момент в трактовке вероятности недооценивал, в частности, Р. Мизес, считавший теорию вероятностей наукой, утверждения которой *непосредственно* относятся к реальным *эмпирическим* объектам, так называемым «коллективам», представляющим собой специфические эмпирические последовательности исходов определенного события[160].

Предел и, соответственно, вероятность понимались им как некое эмпирическое свойство самой действительности, а именно как некоторая выявляемая в опыте граница, вокруг которой колеблются значения относительных частот в наблюдаемых образцах и к которой они все больше приближаются по мере увеличения размера образца. Введение же в математическую запись предельно-частотного определения вероятности понятия бесконечности рассматривалось Мизесом не более как удобный прием, имеющий чисто прагматическое оправдание. Такая трактовка Мизесом вероятности и ее природы была неизбежным следствием разделявшейся им эмпиристской концепции природы теоретического знания, согласно которой все теоретические понятия и утверждения должны быть в принципе сводимы к определенной совокупности эмпирических понятий и утверждений и представлять собой не что иное, как удобное сокращение (и обозначение) подобных совокупностей. Эта концепция о природе теоретического знания была, как известно, одной из основных догм логического эмпиризма 30-х гг., идеи которого Мизес активно отстаивал и развивал. Глубокую и аргументированную критику частотной теории вероятности Р. Мизеса дал известный отечественный математик А.Я. Хинчин[161].

Предельно-частотное определение вероятности не устранило, однако, а лишь более выпукло обнажило фундаментальную трудность частотной концепции вероятности: обоснование правомерности экстраполяции значения относительной частоты, полученной для наблюдаемого образца бесконечного класса, на весь этот класс. Попытку Р. Мизеса дать такое обоснование путем введения дополнительного требования для веро-

---

[160] См.: *Мизес Р.* Вероятность и статистика. М., 1930.

[161] См.: *Хинчин А.Я.* Частотная теория Р. Мизеса и современные идеи теории вероятностей // Вопросы философии. 1961. № 1, 2.

ятностных последовательностей — иррегулярности, под которой он понимал полное отсутствие какого-либо порядка в следовании членов данной последовательности, вряд ли можно признать успешной. Как показал А.Я. Хинчин, с чисто математической точки зрения требование иррегулярности логически несовместимо с другим (необходимым с точки зрения частотников) свойством вероятностных последовательностей — существованием у них предела.

Иное, чем Р. Мизес, обоснование правомерности такой экстраполяции эмпирической частоты дал Г. Рейхенбах. Прежде всего, он открыто признал в качестве важнейшей черты любых вероятностных суждений их предсказывающий характер, ибо утверждение о «длинном ряде» относительных частот всегда основано на «коротком ряде» относительных частот, который наблюдался. Поэтому, по мнению Рейхенбаха, при нахождении вероятности мы всегда опираемся на некоторое индуктивное правило. Рейхенбах формулирует его следующим образом: «Если начальная часть n элементов последовательности χ_i дана и результируется в частоте $f^{\,n}$ и если ничего не известно о вероятности второго уровня появления определенного предела P, полагай, что частота $f^{\,i}$(i>n) будет достигать предела P внутри $f^{\,n}$(i±δ), когда последовательность увеличивается»[162].

Он утверждал, что это правило приведет к успеху, если успех возможен. Однако, как отмечают многие авторы, такое обоснование не дает гарантии, что после *конкретного* числа наблюдений наша оценка относительной частоты в длинном ряду будет в пределах некоторой степени точности. Кроме того, возникает проблема обоснования самого этого индуктивного правила, которое отнюдь не представляет собой аналитической истины. Очевидно, что попытка его вероятностного (статистического) оправдания грозит регрессом в бесконечность.

Таким образом, предложенные Мизесом и Рейхенбахом способы обоснования предельно-частотного определения вероятности нельзя признать достаточно

[162] *Reichenbach H.* The Theory of Probability. Berkley, 1949. P. 446.

убедительными. На сегодня многие авторы по-прежнему считают проблему обоснования частотной концепции вероятности открытой. Основной методологический недостаток предельно-частотной интерпретации вероятности они видят в том, что при такой интерпретации вероятностные утверждения не могут быть окончательно ни верифицированы, ни фальсифицированы, ибо серии наблюдений, на основе которых вычисляется частота в бесконечной последовательности испытаний, всегда теоретически могут быть рассмотрены как флуктуации. В силу этого одной и той же вероятностной последовательности можно приписать разные оценки вероятности и ни одну из них нельзя будет строго логически ни доказать, ни опровергнуть[163].

Оценка приемлемости предельно-частотной интерпретации вероятности (впрочем, это в полной мере относится и к другим интерпретациям вероятности) поднимает две группы вопросов. Первая группа вопросов, которая была рассмотрена выше, связана с выяснением ее методологической обоснованности. Вторая группа вопросов относится к оценке ее универсальности, т. е. к вопросу о том, насколько частотная интерпретация может ассимилировать все те контексты употребления понятия вероятности, которые имеют место в науке и повседневной жизни.

В оценке степени универсальности предельно-частотной интерпретации вероятности существует два крайних подхода. Одни авторы считают, что в подавляющем большинстве случаев употребления понятия вероятности на практике никто не говорит о пределе относительной частоты в бесконечных сериях испытаний (Ст. Тулмин).

Другие авторы, в частности Рейхенбах, пытались доказать, что все разумные контексты, в которых используется понятие вероятности, могут быть успешно интерпретированы именно частотным образом. В от-

---

[163] См.: *Амстердамский Ст.* Об объективных интерпретациях понятия вероятности // Закон, необходимость, вероятность. М., 1967. С. 53—57.

личие от Дж. Венна и Р. Мизеса, Г. Рейхенбах считал, что частотной интерпретации поддаются даже утверждения о вероятности единичных событий, например высказывание «Вероятно, завтра будет дождь», а также такие контексты, где говорится о вероятности определенных гипотез и теорий быть истинными, например, «Вероятно, «Гамлет» был написан Шекспиром», или «В свете имеющихся данных теория относительности высоко вероятна» или «Теория А более вероятна, чем теория В» и т. д.

Однако здесь «частотники» также сталкиваются с большими трудностями. Например, стремление применить частотную интерпретацию к предсказанию вероятности осуществления отдельного события поднимает проблему выбора наилучшего класса-референта, ибо предсказание одного и того же события по отношению к различным классам-референтам будет иметь различную вероятность. Например, если нас интересует вероятность определенного человека (мужчины, курящего, спортсмена, 30 лет, женатого, блондина) дожить до 70 лет, то относительно какого класса мы должны подсчитывать эту вероятность? Частотник обычно отвечает, что надо выбирать класс, который содержит наибольшую информацию об этом единичном событии. Но не означает ли это, что наилучшие предсказания о конкретном единичном событии будут существенно зависеть от состояния наших знаний?

Далее. Частотник, считающий частотную концепцию вероятности универсальной и единственно законной, должен интерпретировать вероятностные утверждения, подобные высказыванию «В свете имеющихся данных теория относительности высоко вероятна» как утверждение о частоте, с которой подобного рода (?) теории на основе подобного рода (?) данных являются истинными. Однако, как справедливо замечает Дж. Ленц: «Как мы выделим класс подобного рода теорий и где мы найдем пригодную статистику, на основании которой мы могли бы установить истинностную частоту таких теорий. Здесь попытка частотников ассимилировать предложения, утверждающие степень подтверждения, кажутся не чем иным, как ad hoc гипотезой с фальшивым правдоподобием»[164].

Неприемлемыми представляются и частотные методы определения вероятности истинности теорий, которые были предложены Рейхенбахом исходя из его позитивистских установок в трактовке природы теоретического знания. Согласно одному из этих методов, вероятность истинности теории предлагалось определять как отношение числа тех следствий теории, которые оказались истинными при проверке теории, к общему числу всех следствий данной теории. При нахождении же вероятности теории вторым методом предлагалось рассматривать отношение m/n, где n — число известных фактов определенной области явлений, а m — число тех из них, которые выводимы из данной теории. Одним из основных возражений предложенному Рейхенбахом методу определения вероятности теории является то, что при таком подходе теория может считаться вероятной в высокой степени, даже если она опровергается фактами. Конечно, при условии, что значительное число фактов она объясняет и предсказывает. Кроме того, если следовать предложенным Рейхенбахом методам, то максимально вероятной (имеющей вероятность, равную 1) необходимо признать ту теорию, которая является простым описанием имеющихся фактов и, по существу, теорией не является. Более подробно о несостоятельности попыток Рейхенбаха определить частотным способом степень приемлемости научных теорий можно прочесть в нашей работе[165].

Таким образом, необходимо признать, что как и в случае с классической концепцией вероятности частотная интерпретация вероятности: а) имеет определенные трудности в плане своего логико-методологического обоснования (при этом ничуть не меньшие, чем классическая теория вероятности, хотя, конечно, другие); б) не является универсальной; в)весьма эффек-

---

[164] *Lenz J.* The Frequency Theory of Probability // The Structure of Scientific Thought (ed. E. Maddeu). Boston, 1960. P. 268.

[165] См.: *Лебедев С.А.* Индукция как метод научного познания. М., 1980. С. 111–115.

тивна в целом ряде контекстов употребления вероятности, которые не поддаются естественной интерпретации с позиций других истолкований вероятности. В основном это — статистические контексты.

Следующей весьма распространенной концепцией вероятности является логическая интерпретация. Ее наиболее видные сторонники: американский экономист Дж. Кейнс, английский геофизик Г. Джеффрис и американский логик Р. Карнап. Согласно логической интерпретации вероятность P (A, B) есть отношение не между двумя классами событий, а между двумя высказываниями (каждое из которых может быть любого содержания и сколь угодно сложным). Вероятностные утверждения есть логические метасуждения, характеризующие степень (силу) поддержки одного высказывания (A), называемого также гипотезой, другим высказыванием (B), называемым «данными». Соответственно теория вероятностей рассматривается как искусство оценки гипотез на основе имеющихся данных.

Как и для всякой общей идеи, для логической концепции вероятности можно найти в истории познания немало различных аналогов. Некоторые исследователи (Генрик фон Райт, Карнап и др.) вообще считают, что в начале своей научной карьеры понятие вероятности появилось в форме именно логической вероятности. В качестве подтверждения этой мысли они указывают на работы Я. Бернулли, П. Лапласа и др.

В XX в. логическую концепцию вероятности активно развивали Дж. Кейнс (Treatise on Probability, 1921) и геофизик Г. Джеффрис (Theory of Probability, 1939), которые считали ее универсальной и единственно правомерной с философской точки зрения. Любое событие, рассуждал Кейнс, либо произойдет, либо не произойдет, поэтому в действительности нет никакой вероятности. Сказать, что имеется определенная вероятность, что какое-то событие произойдет, значит осмысленно сказать только то, что гипотеза о том, что оно произойдет, подтверждена имеющимися данными в такой-то степени. И Кейнс, и Джеффрис отвергали частотную интерпретацию вероятности и утверждали, что всегда, когда мы говорим о вероятности, мы имеем в виду только отношение одного предложения (гипотезы) к другому (данным), которое с определенной степенью поддерживает первое. При этом, если Кейнс считал, что сила поддержки гипотезы данными может быть измерена численно лишь в некоторых простых случаях (таких, как подбрасывание монеты, кости, вытаскивание карт из колоды и т. п.), то Джеффрис верил, что это возможно во всех случаях.

В отличие от них, а также от ортодоксальных частотников Р. Карнап (в трудах которого теория логической вероятности приобрела характер весьма строгого и достаточно развитого логико-математического построения)[166] исходит из того, что существует не одно, а два различных понятия вероятности, что в науке и в повседневной жизни термин «вероятность» издавна использовался в двух существенно различных смыслах, а именно логическом и частотном. Для закрепления этого различения он вводит соответствующие символические обозначения «вероятность1» для логического понятия вероятности и «вероятность2» для частотного или статистического понятия вероятности. По мнению Р. Карнапа, в то время как высказывания о статистической вероятности утверждают нечто о фактах и проверяются опытом, высказывания о логической вероятности имеют аналитический характер, и их истинность всецело определяется логической структурой этих высказываний и имеющимся определением логической вероятности. В этом смысле они полностью отвечают всем требованиям, которые предъявляются к утверждениям логики и математики.

Вот почему Карнап называет вероятность1 логическим отношением, а теорию логической вероятности — индуктивной логикой. Другим основанием является то, что логическая вероятность *c (h&e)*, трактуемая им как степень выводимости одного высказывания *(h)* из другого *(e)*, рассматривается в качестве прямого аналога основного отношения дедуктивной логики — логической импликации. «Я думаю, — писал он в одной из своих последних работ, — что вероятность 1 может рассмат-

[166] См.: *Carnap R.* Logical foundations of Prabability. Chicago, 1971.

риваться как частичная логическая импликация... Индуктивная логика подобно дедуктивной имеет отношение исключительно к рассматриваемым утверждениям, а не к фактам природы. С помощью логического анализа гипотезы h и свидетельства e, мы заключаем, что h логически имплицируется e не полностью, а лишь частично и в такой-то степени»[167].

Таким образом, согласно Карнапу дедуктивная логика является частным случаем индуктивной логики. Первая имеет место тогда, когда $c\ (h,\ e)$ равна либо 1, либо 0, т. е. когда гипотеза либо логически имплицируется данными, либо противоречит им. В других же случаях дедуктивная логика хранит молчание. Здесь вступает в силу индуктивная логика, которая призвана количественно определить степень частичной выводимости гипотезы из данных.

Стремление Карнапа построить индуктивную (вероятностную) логику первоначально имело вполне определенную цель: найти метод, с помощью которого можно было бы градуировать теоретические построения по степени их поддержки эмпирическими данными и на этом основании решать вопрос о степени приемлемости теории. Этот взгляд во многом был мотивирован философскими взглядами Карнапа, его логико-эмпирическими установками. Согласно этим установкам: 1) единственно научным основанием принятия научных законов и теорий должно быть их соответствие эмпирическим данным; 2) процесс принятия научных законов и теорий может быть реконструирован средствами вероятностной индуктивной логики.

Реализация этой программы обнаружила, однако, ее утопичность как в собственно логическом, так и в философском плане. Она столкнулась с целым рядом принципиальных трудностей, среди которых можно назвать следующие:

1) теория логической вероятности (или индуктивная логика) была построена Карнапом только для весьма простых языков, включающих в себя лишь одноместные предикаты (термины, обозначающие свой-

[167] *Карнап Р.* Философские основания физики. М., 1971. С. 71—85.

ства, но не отношения). На сегодня принципиально открытым остался вопрос, возможно ли построение количественной теории подтверждения для более богатых языков, включающих в себя также отношения, ведь именно на таком языке формулируется большинство утверждений науки;

2) карнаповская теория подтверждения дает различные значения степени подтверждения одной и той же гипотезы по отношению к одним и тем же данным в разных языках, и, таким образом, логическая вероятность существенно зависит от выбора субъектом языка, а основания такого выбора совершенно не ясны;

3) отождествление Карнапом степени подтверждения с логической вероятностью приводит к тому, что степень подтверждения законов и теорий, имеющих характер универсальных высказываний, оказывается всегда равной 0, что противоречит реальной практике употребления учеными понятия «подтверждение» в этих случаях;

4) в теории подтверждения Карнапа не дается обоснованного ответа на вопрос, что следует считать в науке «подтверждающими данными» (парадокс Гемпеля), без чего невозможно говорить о применении этой теории к реальным научным концепциям;

5) утверждения о логической вероятности, характеризующие степень выводимости гипотезы из данных, принципиально не могут выступать показателем ни ее истинности, ни ее ложности. В индуктивной логике Карнапа гипотеза может иметь сколь угодно высокую степень подтверждения и быть тем не менее ложной и, наоборот, — иметь сколь угодно низкую степень логической вероятности и быть истинной.

Более подробно о трудностях теории логической вероятности можно прочесть в нашей работе[168].

Оценивая степень приемлемости логической интерпретации в целом, можно указать на следующие моменты. Конечно, по сравнению с частотной концепцией вероятности в ее рамках более легко ассимили-

---

[168] См.: *Лебедев С.А.* Индукция как метод научного познания. М., 1980. С. 115–123.

руются такие контексты употребления вероятности, где говорится о вероятности научных законов и теорий, а также о вероятности единичных, даже уникальных, событий типа «Вероятно, Юлий Цезарь был в Британии». Однако и здесь имеется целый ряд трудностей. Имевшие место попытки выдать ее за универсальную и единственно правомерную интерпретацию вероятности (Дж. Кейнс, Г. Джеффрис и др.) оказались столь же несостоятельными, сколь и аналогичные попытки в отношении классической и частотной концепций. Позиция Р. Карнапа, утверждавшего наличие в реальной науке не одного, а двух основных понятий вероятности: логического и частотного, также не свободна от возражений. Прежде всего вызывает сомнение тезис о том, что в науке и повседневной жизни существует только два основных понятия вероятности, а именно частотное и логическое (притом последнее — в смысле Р. Карнапа) а скажем — не больше.

Следующей весьма распространенной в современной науке концепцией вероятности является так называемая диспозиционная интерпретация вероятности. Весьма подробно она была разработана, в частности, известным философом науки К. Поппером.

Согласно этой интерпретации, вероятность характеризует диспозицию или предрасположенность опытной ситуации к вызыванию определенных относительных частот некоторых событий при условии повторения данной опытной ситуации. Здесь в отличие от частотной интерпретации вероятность и относительная частота не отождествляются, а рассматриваются как принадлежащие к разным структурным уровням научного знания. В онтологическом плане отношение между ними трактуется как отношение между сущностью и явлением. С точки зрения К. Поппера, вероятность — это физическая реальность, аналогичная полю. Она столь же непосредственно не наблюдаема, как и последнее. О ее существовании можно говорить лишь косвенно, через наблюдения относительных частот, выступающих ее проявлением. С помощью предложенной интерпретации вероятности Поппер надеялся обосновать принципиально вероятностный и вместе с тем объективный характер квантовой механики. По мнению Поппера «обычная интерпретация вероятности в физике колеблется между двумя крайностями: объективной, чисто статистической интерпретацией, и субъективной интерпретацией в терминах нашего неполного знания или доступной информации... Диспозиционная интерпретация является сугубо объективной интерпретацией. Она элиминирует колебания между объективной и субъективной интерпретациями и вмешательство субъекта в физику»[169].

Попперовская интерпретация вероятности действительно имеет ряд преимуществ перед частотной интерпретацией вероятности в плане более глубокого общефилософского и методологического обоснования вероятности как объективной категории. Однако поскольку при определении численного значения вероятности она опирается на частотную концепцию вероятности, то разделяет все методологические слабости последней. В частности, поскольку не все контексты употребления понятия вероятности в науке и повседневной жизни могут быть интерпретированы частотно, постольку диспозиционная интерпретация столь же неуниверсальна, сколь и частотная.

В XX в., начиная с 50-х гг., в научной и философской литературе все активнее стала набирать силу субъективная, точнее персоналистская, интерпретация вероятности. Согласно этой интерпретации вероятность характеризует степень или интенсивность доверия, которую определенный индивид испытывает по отношению к некоторому событию или высказыванию. Пристальный интерес современных исследователей к персоналистской концепции вероятности вызван рядом обстоятельств. Во-первых, усилением в современной науке внимания к исследованию различных аспектов человеческой деятельности и, в частности, тех из них, которые связаны с его активностью в процессе познания. Во-вторых, той огромной значимостью, которую имеет в современных условиях разработка проблем

---

[169] *Popper K.R.* Probability Magic or Knowledge out of Ignorance // Dialectica. 1957. № 11. P. 65.

теории и логики принятия решений, существенно использующих, как показывает опыт их построения, понятие персональной вероятности. Наконец, в-третьих, тем, что концепция вероятности как степень уверенности субъекта сумела преодолеть те слабости, которые она имела в ранний период своего развития.

Тенденция к субъективной интерпретации понятия вероятности была, как известно, весьма сильной уже на первых этапах развития теории вероятности. Она действительно отчетливо видна в работах Я. Бернулли, де Моргана, П. Лапласа и других теоретиков вероятности XVII—XIX вв. Тогда эта тенденция во многом была обусловлена господствовавшими представлениями классической механики об однозначном характере объективных законов действительности, абсолютизация которых приводила к мнению о том, что реальный мир соткан именно из таких законов и в нем нет места вероятности. Считалось, что вероятность привносится в познание субъектом и характеризует степень полноты знания им действительных объективных связей и отношений. Как утверждал Лаплас: «...вероятность обусловливается отчасти нашим незнанием, а отчасти нашим знанием»[170]. С этой точки зрения необходимость обращения к вероятности обусловлена ограниченными познавательными способностями реального человека, невозможностью обладания им абсолютно полным и абсолютно точным знанием всех происходящих в мире процессов в любой из моментов времени. Для всемогущего разума (или Бога) обращение к вероятности при познании действительности не потребовалось бы.

Уже в XIX в. против субъективной интерпретации вероятности был выдвинут ряд серьезных и, как казалось, «убийственных» возражений:

1) невозможность численного измерения степени доверия субъекта;

2) зависимость вероятности того или иного события или высказывания при персоналистской ее интерпретации от имеющихся у субъекта знаний;

---

[170] *Лаплас П.С.* Опыт философии теории вероятностей. М., 1908. С. 10.

3) возможность приписывания субъектами на основе одинаковой информации различных вероятностей одному и тому же событию или высказыванию в зависимости от целей, предпочтений, ожиданий и т. п. субъективных факторов;

4) трудность рационального объяснения с позиций персоналистской интерпретации вероятности близкого согласия специалистов в большом числе неопределенностных ситуаций.

Вплоть до 30-х гг. XX в. сторонники персоналистской интерпретации вероятности не могли ответить на эти возражения, и это естественно подрывало доверие к их концепции. Однако дальнейшее развитие теории персоналистской вероятности, которое она получила в работах Б. де Финетти, Ф. Рамсея, Л. Сэвиджа, Г. Кайберга и др., показало возможность снятия или по крайней мере нейтрализации некоторых вышеприведенных возражений. В частности, был предложен способ численного измерения степени доверия субъекта через его ставочное поведение.

Каким образом можно измерить эту степень уверенности? Некоторые персоналисты (например, Б. Купмэн, И. Гуд) предложили измерять степени субъективной уверенности, сравнивая относительное правдоподобие различных утверждений с помощью интроспекции. Например, если кажется, что некоторое событие А в два раза правдоподобнее события «не-А», то событию А нужно приписать вероятность 2/3, а событию «не-А» — 1/3.

Другой возможный подход к измерению субъективных вероятностей состоял в оценке степеней уверенности по поведению субъекта, в основе которого лежали эти степени уверенности. Например, если человек твердо не знает, в каком направлении ему следует идти, то степень его уверенности в правильности выбранного направления можно измерить длиной пути, который он готов пройти, чтобы узнать, верно ли выбрана им дорога.

Однако существует ряд возражений, приведенных Ф. Рамсеем против способов измерения субъективной вероятности на основе степеней уверенности. Предположим, что мы измеряем степени уверенности по интенсивности чувства убежденности. Однако уверенность часто не сопровождается никакими ощущениями (например, мы не испытываем никаких чувств по поводу того, что принимается нами как само собой разумеющееся). Кроме того, интенсивность ощущений трудно выразить численно. Если же мы измеряем вероятности на основе поведения или как степень готовности к определенным действиям, то не можем определить те степени уверенности, которые не ведут ни к каким действиям (но могли бы вести при соответствующих обстоятельствах). С другой стороны, интроспекция часто состоит в том, что мы задаем себе вопрос — как бы я действовал в гипотетической ситуации? Таким образом, можно предложить способ измерения субъективных уверенностей, уточняющий рассмотренные: определять персональные вероятности как основу возможных действий в реальной или гипотетической ситуации.

Поскольку реальное поведение определяется целым комплексом ощущений субъекта, постольку для измерения степеней его уверенности было предложено использовать специальные упрощенные схемы поведения, позволяющие выделить изучаемые вероятности из всех остальных ощущений. В частности, в качестве такой схемы Ф. Рамсей предложил ставочное поведение субъекта: рассмотрение гипотетического пари о вероятном исходе некоего события. Если субъект готов поставить сумму r на осуществление события против суммы s, то его персональная вероятность этого события равна $\frac{r}{r+s}$[171]. Схема пари дает в принципе метод прямого экспериментального измерения степени уверенности относительно данного события.

Конечно, схема пари несовершенна, если рассматривать ее как универсальный способ определения степени уверенности реального человека: на его решение влияют не только представления о вероятностях, но и

[171] См.: *Ramsey F.* Truth and Probability // Studies in Subjective Probability. N. Y.,1964. P. 61—92.

размер ставки, различные психологические соображения. Суеверный человек не станет заключать пари на осуществление такого события, как смерть или болезнь; в реальной жизни заключение пари может повлиять на осуществление события — например, ставка на одного из кандидатов в президенты заставит голосовать именно за этого кандидата; в то же время ставка на кандидата в президенты может быть выражением политических взглядов, а не результатом беспристрастной оценки его шансов на победу.

Эти и другие подобные возражения, однако, не означают, что схема пари не может применяться для оценки субъективных вероятностей. Как любая модель, в теории субъективной вероятности схема пари описывает поведение не реального человека, а идеализированного субъекта, на решения которого влияют только персональные вероятности. Тем самым эта модель приближенно описывает общие закономерности ставочного поведения конкретного человека, абстрагируясь от его нерациональных побуждений. Кроме того, при изучении степеней уверенности реального человека с помощью пари можно использовать специальные приемы, чтобы приблизиться к идеальной схеме (например, для уменьшения влияния величины приза на решения рассматривают малые, но не смехотворно малые ставки).

Итак, степени уверенности в теории субъективной вероятности определяются через ставочное поведение субъекта как основание для возможных действий, как готовность действовать на их основе, то есть связываются с деятельностью субъекта и состоят в его склонности сделать некоторый тип выбора в объективных ситуациях.

Как известно, любая теория строится для идеальных объектов. Например, при частотной интерпретации вероятности рассматривается бесконечный и однородный, а, следовательно, также не реальный, а идеальный коллектив. Субъективная теория вероятности, изучая степени уверенности идеального субъекта, постулирует, в свою очередь, что этот субъект в некотором смысле «рационален».

Базовое условие, которому должны удовлетворять степени уверенности идеализированного субъекта, рассматриваемого субъективной теорией вероятностей, — когерентность (согласованность, непротиворечивость). Рамсей, введя это понятие в 1926 г., определил его в терминах ставочного поведения субъекта: ставки должны быть связаны так, чтобы гарантировать от полного проигрыша.

Условие когерентности формулируется Рамсеем как естественный нормативный критерий рациональности, как необходимое (хотя и недостаточное) условие рациональности. Таким образом, предметом теории субъективной вероятности являются рациональные степени уверенности идеального непротиворечивого субъекта.

Ф. Рамсей и Б. де Финетти показали, что необходимым и достаточным условием когерентности степеней уверенности является их соответствие аксиомам исчисления вероятностей: с одной стороны, нарушение аксиом исчисления ведет к некогерентным ставочным системам (в которых субъект рискует потерпеть неудачу при любом возможном исходе), с другой — наоборот, все исчисление вероятностей можно вывести из условия когерентности. И поскольку исчисление вероятностей «составляет основание большей части нашего мышления» (Б. де Финетти), постольку когерентность — общее условие человеческого мышления и, следовательно, поведения. «Утверждение, что люди считают согласно правилам арифметики, а думают, пользуясь правилами логики, ничего не стоит, если мы не поймем, что и ошибки в арифметике или логике также для нас вполне естественны. Еще более естественно, что ошибки становятся общим явлением в более сложных областях, таких, как вероятность; тем не менее кажется вполне правильным утверждение, что в основном люди ведут себя согласно правилам когерентности, даже хотя они часто нарушают их (то же самое можно оказать и о применении ими арифметики и логики). Но для того чтобы избежать заблуждений, нам кажется существенным подчеркнуть, что теория вероятностей не пытается описывать действительное поведение; ее предметом является когерентное поведение, а тот факт, что люди бывают лишь более или менее когерентными, не существен»[172].

Итак, теория субъективной вероятности рассматривает мнения идеализированного субъекта, который никогда не противоречит себе. Для реального человека теория вероятностей — код, закон, канон непротиворечивости. Она дает человеку возможность определить, имеются ли противоречия в его собственном, реальном или воображаемом поведении (хотя и не указывает однозначно, как их исправлять.) В теории субъективной вероятности доказывается, что для каждого человека, который ведет себя когерентно (т. е. не заключает пари таким образом, чтобы наверняка понести убытки), существует одна и только одна вероятностная структура.

Степени уверенности рационального субъекта должны не только когерентно согласовываться друг с другом, но и когерентно модифицироваться с изменением состояния информации. Показано, что вычисление апостериорных вероятностей по формуле Байеса обеспечивает их когерентность при произвольных, но когерентных априорных вероятностях, что дало Б. де Финетти основание утверждать: «Байесовская точка зрения — почти самоочевидная истина, просто и недвусмысленно опирающаяся на необсуждаемые правила непротиворечивости для вероятностей»[173].

Как известно, байесовский анализ зародился в 1763 г., когда в очерке Т. Байеса, опубликованном в «Философских трудах», впервые появилась теорема Байеса. Современную формулировку этой теоремы дал П. Лаплас в своем «Опыте философии теории вероятностей» (1814). В главе «Общие принципы теории вероятностей» он поместил принцип 6, который относится, как писал Лаплас, к вероятности причин.

Пусть некоторое событие A является следствием одного из n несовместимых событий B(1), B(2) ..., B(n) и только их; последние события Лаплас называет причи-

[172] *De Finetty B.* Foresight: Its Logical Laws, Its Subjective Sources // Studies in Subjective Probability. N. Y., 1964. P. 111.

[173] *De Finetty B.* Bayesinism. Jut. Stat. Rew., 42. 1974. P. 118.

нами. Спрашивается, если известно, что событие наступило, чему равна вероятность того, что осуществилась и причина В(i)? Вот формулировка ответа, данного Лапласом: «Вероятность существования какой-либо из этих причин равна дроби, числитель которой есть вероятность события А, вытекающая из этой причины, а знаменатель есть сумма подобных вероятностей, относящихся ко всем причинам; если эти различные причины, рассматриваемые a priori, не одинаково вероятны, то вместо вероятности события, вытекающей из каждой причины, следует взять произведение этой вероятности на вероятность самой причины», т. е.:

$$P\ (B_i\ /\ A) = \frac{P\ (A/\ B_i)\cdot P\ (B_i)}{\sum_{i=1}^{n} P(A/\ B_j)\cdot P\ (B_i)}.$$

Эту теорему можно считать истоком современного байесовского анализа, т. к. в ней вводятся его основные понятия: понятия априорной (P(Bi)) и апостериорной (P(Bi/A)) вероятности.

Конечно, все рассмотренные выше требования не обеспечивают совпадения вероятностей для различных субъектов, т. е. не гарантируют того, что разумные субъекты перед лицом одних и тех же наблюдений будут иметь одинаковые степени уверенности в истинности одного и того же предложения. Персоналистская концепция оставляет каждому человеку свободу оценивать вероятности как он считает нужным при условии соблюдения требования когерентности. Однако на практике часто имеет место более или менее точное согласие в верованиях различных субъектов. Этот факт можно объяснить с помощью следствия теоремы Байеса, которое состоит в том, что апостериорные вероятности при увеличении веса наблюдений мало различаются при любых априорных вероятностях. Более строгое объяснение согласия в принятии вероятностей на основе наблюдаемых фактов для различных субъектов опирается на введенное Б. де Финетти понятие симметричной зависимости (перестановочности, эквивалентности) событий и случайных величин, которое позволяет связать субъективную трактовку вероятности с классическими процедурами статистики.

По мнению радикальных персоналистов, любая интерпретация понятия вероятности субъективна. Сторонники этого подхода приводят множество примеров влияния субъективных факторов при «объективных» интерпретациях вероятности. Прежде всего каждая интерпретация имеет дело с моделью, а выбор вероятностной модели всегда субъективен (или опирается на традицию; в этом случае допущение, что стандартная модель достаточно хорошо описывает рассматриваемую ситуацию, также субъективно). Далее, планирование эксперимента и интерпретация данных также всегда субъективны; общеизвестен факт, что исследователь всегда склонен учитывать данные, отвечающие его интуитивным представлениям. Разделение параметров модели и результатов наблюдения на существенные и несущественные также субъективно. При определении вероятности как предела частоты бесконечная последовательность наблюдения недоступна для исследователя и выводы делаются на основе конечной последовательности. Решение о том, что имеющееся количество наблюдений достаточно для вычисления хорошего приближения вероятности, включает элемент субъективности. Далее, при частотном подходе вероятность вычисляется как среднее по некоторому классу событий. При этом значение вероятности зависит от выбора класса отнесения, а выбор субъективен, и делается субъективное же допущение, что различиями внутри класса можно пренебречь. Например, чтобы найти вероятность события «господин А умрет в этом году», можно вычислить, с какой частотой умирают мужчины в возрасте господина А в городе, где он живет (используя данные статистики). Но можно еще учесть профессию, состояние здоровья, район города и еще бесконечное множество факторов при включении господина А в некоторый класс. Господин А уникален, и какие факторы принять во внимание, а от каких отрешиться — предмет субъективного выбора. Далее, предсказания будущих частот всегда делаются на основе прошлого опыта. То, что предсказываются частоты, близкие к уже наблюдавшимся, является психологическим фактором. Таким образом, предсказания всегда субъективны, так как делается субъективное предположение, что условия не изменяются. Так, в приведенном примере только интуиция говорит нам, что пропорцию смертей можно считать постоянной во времени.

В классической статистике выбирают из класса допустимых оснований «хорошие» свойства: несмещенность, состоятельность и т. д., — при этом выбор часто субъективен. Многие субъективисты считают персоналистский подход способом описания этих субъективных элементов в формальной математической схеме. С их точки зрения, теория субъективной вероятности показывает, что эти необходимые субъективные суждения гораздо менее произвольны, чем казалось (они должны удовлетворять логическому требованию когерентности). Роль же субъективной вероятности в статистике состоит в некотором смысле в том, чтобы сделать статистику менее субъективной. По их мнению, объективность, которая имеет место на практике, происходит из тенденции различных мнений сближаться по мере увеличения веса наблюдений. Объективность же науки находит свое математическое выражение в том факте, что субъекты, исходящие из совершенно различных априорных вероятностей, тем не менее вычисляют фактически одинаковые апостериорные вероятности, когда имеется достаточно большое количество данных (по крайней мере если все априорные вероятности нигде не обращаются в нуль). Во всех подобных высказываниях под термином «объективность» понимается интерсубъективность, или высокий уровень согласия субъектов по спорному вопросу, что объясняется связью субъективной вероятности с процедурами байесовского вывода. Байесовский вывод не зависит от того, какие исходные вероятности были приписаны событиям в силу того факта, что человек, принимающий решение, основывает свои степени уверенности на определенном комплексе знаний, по мере увеличения которого персональные вероятности стремятся к совпадению.

Однако многие ученые по-прежнему считают, что, поскольку наука объективна, персоналистский подход к вероятности ненаучен. При этом объективность понимается как соответствие научных знаний действительности. На подобные возражения ответил Д. Линдли: если предположить, что наука объективна, то ее результаты могут рассматриваться как результаты всего научного сообщества. Научное сообщество в качестве лица, принимающего решение, должно быть так же когерентно, как отдельный ученый, и все выводы субъективного подхода применимы к этому коллективному субъекту. В предположении объективности науки апостериорные вероятности стремятся при увеличении информации к объективно существующей вероятности, адекватно отражающей свойства реального мира, а от состояния знаний зависит не вероятность, а точность, с которой мы можем ее определить[174].

Сейчас многие сторонники персоналистского подхода убеждены, что субъективные вероятности различаются только потому, что субъекты обладают различной информацией, а субъективная вероятность является условной вероятностью относительно имеющихся данных, причем, если условия вполне определенны и неизменны, их просто не упоминают. В некотором смысле все вероятности действительно условны, так как зависят от доступа к информации статистика и от выбора им математической модели для описания эксперимента. Если бы два субъекта обменялись всеми имеющимися знаниями друг с другом, то они назначили бы одинаковые вероятности (разумеется, речь идет об идеализации — степени уверенности рационального субъекта, никак не связанной с его эмоциями). Поскольку субъективная вероятность — численное выражение мнения относительно информации, вероятность выступает как мера незнания и характеризует не состояние предмета, а состояние знаний о нем.

Однако здесь (в отличие от логического подхода) под знаниями, видимо, нужно понимать всю совокупность жизненного опыта, так как на определение субъектив-

[174] См.: *Lindley D.* Bayesian Statistics, a Review. 1972. P. 9.

ной вероятности влияет вся неявная фоновая информация, а не только непосредственно относящаяся к рассматриваемой ситуации; например, вероятности могут назначаться из соображений аналогии. При таком уточнении понятно, почему исходные персональные вероятности не могут полностью совпадать, ибо не могут существовать два субъекта, жизненный опыт которых был бы идентичен. Но поскольку информация, непосредственно относящаяся к ситуации, обладает большим весом (влиянием на мнение), чем общая информация, то по мере тщательного изучения предмета мнения о нем стремятся к совпадению. Таким образом, субъективные вероятности с ростом знаний неизбежно приближаются к вероятности, являющейся результатом консенсуса научного сообщества, и в этом смысле интерсубъективны. Более того, между субъективной концепцией вероятности и другими интерпретациями существует, как отмечалось, глубокая внутренняя связь. С позиции радикальных персоналистов (таких, как Б. Де Финетти), любая интерпретация вероятности сводится к субъективной. Действительно, как уже говорилось, элементы субъективности неизбежно присутствуют в любой интерпретации хотя бы потому, что выбор модели всегда субъективен. Тем не менее субъективная интерпретация не противоречит остальным, а дополняет их. Более того, сама субъективная вероятность имеет тенденцию к «объективности»: наличие большого количества информации обеспечивает высокую степень согласованности субъективных мнений

Но самым замечательным оказалось то, что субъективная интерпретация вероятности не только не противоречит остальным интерпретациям вероятности, но вполне совместима с ними и прекрасно дополняет их в конкретном научном исследовании. Так, она вполне совместима с частотной и дополняет ее.

Так, с одной стороны, вероятности, вычисленные на основе частот, отражают уверенность исследователя в том, что данные действительно описывают рассматриваемую ситуацию, что количество данных достаточно для принятия решения на их основе. С другой стороны, на формирование субъективных высказываний о реальных событиях влияет прошлый опыт, в том числе и опыт наблюдения частот, даже если нет статистических данных, относящихся к рассматриваемой ситуации. Если же такие данные есть, то они практически определяют величину субъективных вероятностей при условии убежденности в том, что данные не искажены. При большом количестве данных частотные процедуры статистики дают одинаковые результаты, так как апостериорная вероятность очень близка к частоте. Это означает, что при достаточно богатом эмпирическом опыте субъективные факторы имеют малый вес.

Если вероятность реально существует, то по мере увеличения информации субъективные уверенности приближаются к этой объективной вероятности. Кроме того, диспозиция проявляется в устойчивости частот, а значение субъективной вероятности сближается с частотой.

Логическая интерпретация также совместима с субъективной. Прежде всего для этих интерпретаций вероятность является свойством мышления и определяется имеющейся информацией. При логическом подходе вероятность — разумная вера, которую субъект обязан приписать утверждению при точно фиксированных данных. С субъективной точки зрения вероятность также представляет отношение между утверждением субъекта и системой очевидных знаний, но не чисто логическое (хотя оно удовлетворяет логическому требованию когерентности), а такое, в котором принимаются во внимание все знания субъекта, в том числе и фоновые (те, что не могут быть точно фиксированы). Итак, с одной стороны, субъективная вероятность может рассматриваться как опирающаяся на бóльшее количество информации, чем логическая. С другой стороны, логическую вероятность можно трактовать как персональную вероятность субъекта, обладающего всем возможным знанием, или всего научного сообщества, когда благодаря полноте информации вероятность определяется однозначно. В таком случае логическая вероятность субъективна, так как полное знание зависит от состояния науки и изменяется со временем. При этом логическая вероятность неявно также опирается на огромное количество фоновых (в частности, логических) знаний, накопленных за всю историю человечества.

Как при логической, так и при субъективной интерпретации вероятность может приписываться единичному событию (или высказыванию об единичном событии).

От принятой исследователем интерпретации вероятности зависит выбор предметной области, к которой относятся вероятностные высказывания: объективные явления при частотной и диспозиционной интерпретациях; суждения при логической; субъективная вероятность может относиться как к событиям физического мира, так и к суждениям.

Иногда вероятность может иметь разные интерпретации в одних и тех же контекстах. Например, страховая компания при заключении договора с клиентом оценивает статистическую вероятность страхового случая, в то время как клиент опирается на свою субъективную уверенность. Вероятность одного и того же события выступает как частотная для компании и как субъективная для клиента.

Таким образом, различные интерпретации не взаимоисключают, а дополняют одна другую, отражая разные аспекты явления; предпочтение одной из интерпретаций как главной означает лишь то, что основное внимание переносится на соответствующий аспект.

Ни одну из интерпретаций вероятности нельзя считать совершенно обособленной от других, так как в интуитивном понятии вероятности заложены все возможные интерпретации. Напротив, часто бывает полезно рассматривать различные интерпретации в их взаимосвязи.

Таким образом, концепция субъективной вероятности не только не противоречит, но во многом согласуется со всеми другими интерпретациями вероятности. Все дело лишь в уместности и эффективности их применения в каждом конкретном случае. В частности, поскольку субъективная вероятность определяется в терминах поведения и принятия непротиворечивых решений в условиях неопределенности, постольку естественно, что именно персоналистская интерпретация вероятности неразрывно связана с теорией полезности (теорией предпочтений) и теорией принятия решений. Поэтому она находит широкое применение в экономике, социологии, теории управления, психологии. Везде, где мы имеем дело с прагматической оценкой деятельности человека, мы неизбежно сталкиваемся с субъективной вероятностью.

В рамках персоналистской концепции оказалось возможным ассимилировать многие контексты, связанные не только с применением понятия вероятности к единичным событиям, а также к различного рода гипотезам и теориям, но и в значительной степени частотную практику употребления понятия вероятности. Тем не менее имевшие место попытки де Финетти, Л. Сэвиджа и других сторонников персоналистской интерпретации вероятности выдать ее за универсальную представляются столь же несостоятельными, сколь и аналогичные попытки сторонников классической, частотной и логической интерпретации вероятности. Один из аргументов против попытки универсализировать персоналистскую теорию вероятностей высказал Ст. Амстердамский: «... от нее следует отказаться потому, что она не может объяснить относительной устойчивости частот многих событий»[175].

Подводя итоги анализа исторически существовавших взглядов на природу понятия вероятности и его различных интерпретаций, необходимо подчеркнуть следующее. Во-первых, этот анализ показывает, что каждая из существующих сегодня интерпретаций вероятности имеет определенное право на существование. Во-вторых, ни одна из современных интерпретаций не является универсальной. В-третьих, каждая из имеющихся интерпретаций имеет определенные трудности методологического, философского и логического порядка при ее обосновании. Преодоление этих трудностей является по-прежнему одной из актуальных философских проблем теории вероятностей.

За последние годы все большее распространение как в зарубежной, так и в отечественной философской

[175] Закон, необходимость, вероятность. М., 1967. С. 29.

литературе получает идея о возможности и правомерности существования в науке и практике не одной, а одновременно нескольких интерпретаций вероятности. Данный подход существенно опирается на формально-аксиоматическое построение теории вероятностей и на методологическое различие теории и ее интерпретации. С точки зрения аксиоматического подхода вероятность p(a,b) — это двухместная функция, неотрицательная мера на некотором пространстве, подчиненная определенному условию нормировки (мера всего пространства равна единице). Математические свойства вероятности задаются с помощью следующих аксиом.

1. $0 \leqslant p(a,b) \geqslant 1$.

2. $p(a+b)=p(a)+p(b)$ (a и b — независимые, исключающие друг друга события).

3. $p(a \cdot b)=p(a) \cdot p(b)$.

4. $p(a+\bar{a})=1$ (вероятность необходимого события).

5. $p(a \cdot \bar{a})=0$ (вероятность невозможного события).

Как известно, любая формальная теория в принципе может иметь сколь угодно большое число содержательных интерпретаций. Единственным требованием к каждой из таких интерпретаций является то, что она должна удовлетворять аксиомам теории. Например, в начале XX в. Д. Гильберт, построив формально-аксиоматизированную систему эвклидовой геометрии, показал, что при таком подходе под точкой, прямой и плоскостью содержательно можно подразумевать самые разные вещи. И все они будут законными, если будут удовлетворять аксиомам геометрии. Например, под точками можно подразумевать тройки чисел, под прямыми — линейные уравнения, под плоскостями — систему линейных уравнений. Такая аналитическая, очевидно не-пространственная интерпретация основных понятий геометрии является тем не менее столь же законной, сколь и привычная пространственная интерпретация «точки», «прямой» и «плоскости».

Мы считаем, что аналогичная ситуация имеет место с аксиоматической теорией вероятностей и различными возможными содержательными интерпретациями «вероятности». Все они одинаково законны, поскольку удовлетворяют аксиоматическому определению вероятности. Все они одинаково реальны, поскольку имеют определенную сферу применения. Наконец, все они не-универсальны, поскольку ни одна из них удовлетворительно и полностью не «покрывает» все контексты употребления категории «вероятность» в науке, повседневной жизни и практической деятельности. Таким образом, в целом между рассмотренными выше интерпретациями вероятности имеет место отношение не логического исключения, а скорее — дополнительности.

Глава 5

ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

Введение

Облик математики, неоднозначный на всем протяжении ее истории, еще более усложнился в последние полвека. В математике развиваются не только традиционные дисциплины, но возникло и много новых областей исследования. Это обусловлено как дальнейшим развитием самой математики, так и развитием вычислительной техники. При этом широко развивается проблематика, связанная с применением вычислительной техники к решению задач различных областей науки. Как отмечал акад. А.Н. Тихонов, «ЭВМ изменили подход к применению математики как метода исследования. Они вызвали переориентацию многих сложившихся направлений математики и развитие ряда новых»[1].

Можно назвать такие области математики, как математическая физика, вычислительные методы, автоматизация научных исследований, вычислительные технологии и моделирование, нелинейные динамические системы и процессы управления, оптимальное управление, системный анализ, математическая статистика, исследование операций, математические методы

[1] *Тихонов А.Н., Костомаров Д.П.* Рассказы о прикладной математике. М., 1979. С. 10.

прогнозирования, квантовая информатика, математическая кибернетика, автоматизация систем вычислительных комплексов, алгоритмические языки, системное программирование, открытые информационные технологии, компьютерная графика и мультимедиа, математические проблемы компьютерной безопасности, актуарная математика и др.

На заре развития новой математики известный советский физик, специалист по атомной физике и физике плазмы акад. Л.А. Арцимович писал: «Одним из главных факторов, которые должны определять развитие точных наук и их технических приложений в ближайшее десятилетие, будет применение современной машинной математики, детища науки и техники. Возникновение этой новой могучей методики следует считать самым крупным событием во всей новейшей истории математики, если только сами математики захотят признать вычислительные машины своим детищем. С помощью методов классического математического анализа можно было решать только очень ограниченный круг простейших задач из области физики, механики, аэродинамики, астрономии, различных областей техники. В некоторой степени именно в силу этой причины математики в течение целого столетия должны были пребывать в разреженной атмосфере чистого разума и логических структур, нигде не соприкасающихся с реальной действительностью.

Положение радикально изменилось за последние десять—пятнадцать лет, когда появились быстродействующие вычислительные машины. Очевидно, роль и значение машинной математики будут в дальнейшем быстро возрастать, а ее научные и технические основы быстро развиваться. Конечно, не следует понимать это развитие как одно лишь усовершенствование самих вычислительных машин. Это была бы крайне упрощенная и вульгарная точка зрения. Ничуть не меньшее, а может быть, и большее, значение имеет развитие и углубление того научного фундамента, на котором строятся методы современной машинной математики. Таким образом, и в математике, во всяком случае, с точки зрения физика или инженера, происходят такие события, которые эквивалентны революции в целях и методах исследования»[2].

Существуют различные определения цивилизации XX в., такие как космический век, атомный век, век кибернетики, и среди них не последнее место занимает определение двадцатого века как эры всеобщей математизации. Математические расчеты проникли в самые различные области науки, техники, в экономику, управление и другие сферы человеческой деятельности.

Это и традиционные области приложения математики, и такие области, где математика стала использоваться совсем недавно. Математические концепции, применяемые в них, стали значительно разнообразнее, чем в недавнем прошлом. Расширение потока математизации во многом было связано с развитием вычислительной техники и усилением ее возможностей. Это выразилось в бурном развитии приложений математики, прикладной математики и информатики.

Временами вера в большие возможности математики приводила к тому, что ее стремились применить и там, где это не было необходимо. Постепенно возникло понимание того, что математизация всех видов человеческой деятельности является не только не обязательной, но часто и не оправданной (например, в сфере наук о духе). Вместе с тем стало возможным и необходимым использовать математику для решения огромного класса практических задач, с которыми постоянно сталкивается человек в реальной жизни. Математика вышла из идеального мира математических абстракций на огромные просторы жизненного мира.

Благодаря развитию математического инструментария в сферу науки вовлечены исследования объектов, обладающих целостностью сложносистемного характера. Характер научных проблем, обсуждаемых в этой области науки, своеобразен как по отношению к естественно-научным, так и к техническим дисципли-

---

[2] *Арцимович Л.А.* Избранные труды. Атомная физика и физика плазмы. М., 1978. С. 253.

нам. Проблемы и их решения ориентированы здесь на получение такого знания, которое было бы эффективным и с познавательной, и с практической точки зрения. Такое требование технических наук, как практическая эффективность исследования, здесь выступает как одно из основных. В отличие от традиционного естествознания в этой области науки понятие цели выступает как равноправное по своему статусу с другими научными понятиями, такими как модель, функция, программа, алгоритм, скорость, масса, энергия и т. п. Как писали Р. Акофф и Ф. Эмери, «с появлением кибернетики, теории информации, инженерной теории связи, теории ЭВМ, общей теории систем, системотехники, исследования операций и сопряженных с ними научных и инженерных направлений возросло уважение к таким телеологическим понятиям, как функция и цель»[3].

Методологические проблемы исследования операций, методов управления и системного анализа

Показательной в этом отношении является сравнительно молодая область математики — **исследование операций**. Рассмотрим характерные ее черты. Современная наука уделяет все большее внимание организации и управлению. Практика приводит к необходимости анализа сложных целенаправленных процессов под углом зрения их структуры и организации. От науки требуются рекомендации по оптимальному управлению такими процессами. Сегодня для выработки такого управления требуется научный подход, ибо реальность стала слишком сложной для того, чтобы для ее понимания было достаточно одного здравого смысла и прежнего опыта управления простыми системами. Потребности практики вызвали к жизни специальные научные методы, которые объединены под назва-

[3] *Акофф Р., Эмери Ф.* О целеустремленных системах. М., 1974.

нием «исследование операций». Под исследованием операций с этих пор стало пониматься применение математических методов для обоснования решений в различных областях целенаправленной человеческой деятельности. Под «решением» понимается выбор одной возможности из ряда возможностей, имеющихся у организатора, управленца, лица, принимающего решение.

Решения, как известно, бывают плохими и хорошими, обоснованными и произвольными. Необходимость принятия решений так же стара, как само человечество; человек постоянно должен принимать решения и в повседневной жизни и в профессиональной деятельности. Например, каким видом транспорта воспользоваться? Руководитель предприятия тоже должен постоянно принимать решения: как распорядиться имеющейся рабочей силой? Какие типы работ выполнить в первую очередь? И т. д. Означает ли это, что, принимая подобные решения, человек занимается «исследованием операций»? Нет, пока не значит[4]. Исследование операций начинается тогда, когда для обоснования решений применяется тот или другой математический аппарат. До поры до времени решения в любой области практики принимаются без специальных математических расчетов, на основе опыта и здравого смысла.

Часто решения являются ответственными и главное — сложными. Пусть, например, организуется работа общественного транспорта в новом городе с сетью предприятий, жилыми массивами и т. д. Необходимо принять ряд решений: по каким маршрутам и какие транспортные средства направить? В каких пунктах сделать остановки? Как изменять частоту следования машин в зависимости от времени суток? И т. д. Разумно будет, если решения подкреплены математическими расчетами. Можно взять более яркий пример. Пусть речь идет об отведении части стока северных рек в засушливые зоны. Допустимо ли здесь произвольное, «волевое» ре-

[4] См.: *Венцель Е.С.* Исследование операций. Задачи. Принципы. Методология. М., 1980.

шение, или же необходима серия предварительных расчетов по математическим моделям? Очевидно, что необходимы тщательные, многосторонние расчеты. Научные методы позволяют заранее оценить последствия каждого решения, заранее отбросить недопустимые варианты и рекомендовать наиболее удачные; установить, достаточна ли имеющаяся у нас информация для правильного выбора решения, и если нет — какую информацию нужно получить дополнительно.

Специфика этой области исследований отчетливо проявляется в ряде типичных для нее задач. Рассмотрим некоторые из них. Несмотря на некоторую упрощенность постановки, они дадут представление о том, каков предмет и каковы цели исследования операций.

1. План снабжения предприятий.

Имеется ряд предприятий, потребляющих известные виды сырья, и есть ряд сырьевых баз, которые могут поставлять это сырье предприятиям. Базы связаны с предприятиями какими-то путями сообщения (железнодорожными, водными, автомобильными, воздушными) со своими тарифами. Требуется разработать такой план снабжения предприятии сырьем (с какой базы, в каком количестве и какое сырье доставляется), чтобы потребности в сырье были обеспечены при минимальных расходах на перевозки.

2. Постройка участка магистрали.

Сооружается участок железнодорожной магистрали. В нашем распоряжении находится определенное количество средств: людей, строительных машин, ремонтных мастерских, грузовых автомобилей и т. д. Требуется спланировать строительство (т. е. назначить очередность работ, распределить машины и людей по участкам пути, обеспечить ремонтные работы) так, чтобы оно было завершено в минимально возможный срок.

3. Продажа сезонных товаров.

Для реализации определенной массы сезонных товаров создается сеть временных торговых точек. Требуется выбрать разумным образом число точек, их размещение, товарные запасы и количество персонала на каждой из них так, чтобы обеспечить максимальную экономическую эффективность распродажи.

4. Снегозащита дорог.

В условиях Крайнего Севера метели, заносящие снегом дороги, представляют серьезную помеху движению. Любой перерыв движения приводит к экономическим потерям. Существует ряд возможных способов снегозащиты (профиль дороги, защитные щиты и т. д.), каждый из которых требует известных затрат на сооружение и эксплуатацию. Известны господствующие направления ветров, есть данные о частоте и интенсивности снегопадов. Требуется разработать наиболее экономически эффективные средства снегозащиты (какую из дорог, как и чем защищать) с учетом потерь, связанных с заносами.

5. Противолодочный рейд.

Известно, что в некотором районе морского театра военных действий находится подводная лодка противника. Группа самолетов противолодочной обороны получила задание: разыскать, обнаружить и уничтожить лодку. Требуется рационально организовать операцию (рейд): выбрать маршруты самолетов, высоту полета, способ атаки так, чтобы с максимальной уверенностью обеспечить выполнение боевого задания.

6. Выборочный контроль продукции.

Завод выпускает определенного вида изделия. Для обеспечения их высокого качества организуется система выборочного контроля. Требуется разумно организовать контроль (т. е. выбрать размер контрольной партии, набор тестов, правила браковки и т. д.) так, чтобы обеспечить заданный уровень качества при минимальных расходах на контроль.

7. Медицинское обследование.

Известно, что в каком-то районе обнаружены случаи опасного заболевания. С целью выявления заболевших (или носителей инфекции) организуется медицинское обследование жителей района. На это выделены материальные средства, оборудование, медицинский персонал. Требуется разработать такой план обследования (число медпунктов, их размещение, последовательность осмотров специалистами, виды анализов и т. д.), который позволит выявить максимальный процент заболевших и носителей инфекции.

8. Библиотечное обслуживание.

Крупная библиотека обслуживает запросы, поступающие от абонентов. В фондах библиотеки имеются книги, пользующиеся спросом, книги, на которые требования поступают реже, и, наконец, книги, почти никогда не запрашиваемые. Имеется ряд возможностей распределения книг по стеллажам и хранилищам, а также по диспетчеризации запросов с обращениями в другие библиотеки. Нужно разработать такую систему библиотечного обслуживания, при которой запросы абонентов удовлетворяются в максимальной мере.

Приведенные примеры дают возможность представить себе характерные особенности задач исследования операций. Хотя примеры относятся к самым различным областям деятельности, в них просматриваются общие черты. В каждом из них речь идет о некотором мероприятии, преследующем определенную цель. Заданы некоторые условия, характеризующие обстановку (в частности, средства, которыми мы можем распоряжаться). В рамках этих условий требуется принять такое решение, чтобы задуманное мероприятие было в каком-то смысле наиболее выгодным. В соответствии с этими общими чертами вырабатываются и общие приемы решения подобных задач, в совокупности составляющие методологическую схему и аппарат исследования операций.

С ростом масштабов и сложности мероприятий математические методы обоснования решений приобретают все большую роль. Работа небольшого аэродрома вполне может быть обеспечена силами одного опытного диспетчера; работа крупного аэропорта требует автоматизированной системы управления, работающей согласно четкому алгоритму. Выработка такого алгоритма всегда основывается на предварительных расчетах, т. е. на исследовании операций.

Основным понятием науки «исследование операций» является понятие операции. Операцией называется всякое мероприятие (система действий), объединенное единым замыслом и направленное к достижению какой-то цели (все мероприятия, рассмотренные выше, являются «операциями»).

Операция есть всегда управляемое мероприятие, т. е. от нас зависит, каким способом выбрать некоторые параметры, характеризующие ее организацию. Организация здесь понимается в широком смысле слова, включая набор технических средств, применяемых в операции. Всякий определенный выбор зависящих от нас параметров называется решением. Оптимальными называются решения, по тем или другим признакам предпочтительные перед другими. Цель исследования операций заключается в том, чтобы дать предварительное количественное обоснование оптимальных решений.

Иногда (относительно редко) в результате исследования удается указать единственное строго оптимальное решение, чаще удается выделить область практически равноценных оптимальных (разумных) решений, в пределах которой может быть сделан окончательный выбор. Сам акт принятия решения выходит за рамки исследования операций и относится к компетенции ответственного лица — лица принимающего решение.

В рамках исследования операций формируются отдельные самостоятельные направления — линейное программирование, математическое программирование, теория игр, методы оптимизации и др. Главные сложности анализа конкретных операций, как правило, состоят не в преодолении чисто математических трудностей, а прежде всего в первом шаге исследования операций, которым является формализация операции, ее описание с помощью языка математики. От того, как будет формализована задача, зависит судьба исследования. Так, если удается построить простое описание, то оно делает анализ довольно простым. Но если оно не будет в достаточной степени адекватно реальности, то может привести к результатам сомнительной достоверности. Если же напротив сформулирована переусложненная задача, которая учитывает разнообразные детали процесса и с большими подробностями описывает реальную ситуацию, то это может привести к такой затрате машинного времени, которую не может оправдать высокая точность результата. Другими словами, при составлении модели исследователь операции, который, как правило, является математиком, должен руководствоваться как своим опытом, так и способностями, умением проникать в содержание задачи и ясностью понимания цели всего исследования. Этот первый этап очень далек от традиционной математики, и, тем не менее, преодолеть его трудности может лишь человек, представляющий себе возможности аппарата, т. е. он должен быть де-факто математиком[5].

Не менее сложные проблемы возникают тогда, когда математик формирует критерий (способ оценки качества наших действий) и начинает сравнивать различные варианты возможных стратегий. Типичной является ситуация, когда операция оценивается несколькими показателями. В этом случае имеет место неопределенность целей (есть и иные сложности при формировании критерия). Преодолеть эту неопределенность формальными методами невозможно. Здесь проводятся дополнительные исследования и выдвигаются соответствующие гипотезы.

Надо иметь в виду, что далеко не все задачи сводятся к четко поставленным математическим задачам оптимизации, задачам, которые не содержат неопределенностей. Задачи, не содержащие неопределенностей, являются скорее исключением, чем правилом.

Адекватное реальности описание проблемы практически всегда содержит различного типа неопределенности, отражающие то естественное положение, в котором находится исследователь: любое его знание относительно и неточно. В исследовании операций принято различать три типа неопределенностей: неопределенность целей, неопределенность наших знаний об окружающей обстановке (неопределенность природы) и неопределенность действий реального противника или партнера.

Рассмотрим неопределенность целей и покажем, что необходимо исследователю для анализа соответствующих задач средствами математики.

Для того чтобы свести задачу исследования операции к стандартной задаче оптимизации, которые хоро-

---

[5] См.: *Моисеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа. М., 1981.

шо решаются, необходимо сформулировать дополнительные гипотезы, не вытекающие из постановки задачи. Одной из таких дополнительных гипотез может быть введение целевой функции. Но как сформулировать единую цель, если критериев много? И хотя математика не может дать однозначного ответа на этот вопрос, она может помочь принять решение и сделать правильный выбор. Это и есть проблема неопределенности цели (желаний). Она типична для любого крупного технического и хозяйственного проекта. Например, совершенно естественно желание главного конструктора самолетов добиться того, чтобы его самолет был самым скоростным, самым высотным, самым надежным и к тому же самым дешевым. Но ведь добиться всего этого одновременно невозможно в принципе! Реальная конструкция всегда будет каким-то компромиссом, каким-то сочетанием требуемых качеств. Но каких качеств, конструктор заранее не знает. В этом и заключается основная проблема многокритериальности (неопределенности целей).

Итак, неопределенность целей необходимо требует привлечения дополнительных гипотез, если мы хотим однозначно сформулировать цель операции. Вот некоторые из наиболее употребительных способов преодоления неопределенности целей: линейная свертка, использование контрольных показателей, введение метрики в пространстве целевых функций, компромиссы Парето. В теории принятия решений существует термин «принцип Парето», заключающийся в том, что выбирать в качестве решения следует только тот вектор, который принадлежит множеству Парето. Принцип Парето — важнейший из принципов отбора рациональных решений. Он не выделяет единственного решения, он сужает множество альтернатив. Окончательный выбор остается за лицом, принимающим решение. Но математик, построив множество Парето, облегчает процедуру выбора решения.

Существование неопределенности целей является не единственным типом неопределенностей, с которыми сталкивается исследователь операции. Может существовать и так называемая природная неопределенность. Предположим, что мы знаем нашу цель. Например, мы хотим так проложить маршрут и распорядиться имеющимся запасом горючего, чтобы наш самолет как можно быстрее долетел от Москвы до Владивостока. Но время полета T будет зависеть не только от нас, но еще и от погоды на трассе. Эта ситуация очень типична, и для ее описания в исследовании операций принята вполне определенная формализованная схема. Пусть целевой функцией будет время полета. Целевую функцию (например, время полета) записывают в виде:

$$T = f(x,a),$$

где a — некоторый параметр (или функция), который мы заранее не знаем и не можем контролировать. Выбор x — нашего способа действий, который обеспечивает минимальное значение T, — будет, очевидно, существенно зависеть от a.

Значит, говоря о природной неопределенности при исследовании операции, мы имеем в виду выбор действий в условиях, когда целевая функция задана, но задана не совсем точно — она содержит неопределенный параметр. Решая задачу

$$F\ (x,a) \to \max_{x},$$

мы можем определить вектор x лишь как функцию параметра a:

$$x = x\ (a).$$

Если никакой информацией о факторе неопределенности a мы не располагаем, то и результат оптимизации $f\ (x,a)$ произволен. В реальных ситуациях информация о параметре a обычно имеется в виде принадлежности a к некоторому множеству.

Но подобной информации также недостаточно для однозначного решения задачи. Формула $x = x(a)$ определяет лишь некоторое отображение множества неопределенности природных факторов O_a на множество O_x, которое называют множеством неопределенности результата.

Множество неопределенности результата O_x — это, конечно, очень важная характеристика изучаемой операции, но его построение сопряжено с большим объемом сложных вычислений. В то же время есть еще подход, который дает строгую, правда лишь одностороннюю, оценку. Это так называемый принцип наилучшего гарантированного результата. Выбор гарантирующей стратегии поведения представляет собой рациональный способ принятия решения. В результате использования этой стратегии мы гарантируем себя от всяких случайностей: каковы бы ни были не контролируемые нами факторы, мы обеспечим себе значение целевой функции не меньшее, чем f^* (гарантированная оценка). Но всегда остается возможность как-то улучшить этот результат. Для этого надо принять решение, связанное с определенным риском, поскольку, задавшись, например, каким-либо значением неопределенного фактора, мы можем получить не только большее, но и меньшее значение целевой функции.

Рассмотрим подробнее ситуацию с риском. Здесь обычно принято различать два крайних случая: выбор производится многократно и выбор является однократной операцией. В обоих случаях предполагается, что a — случайная величина, закон распределения которой известен. Разница между этими двумя случаями оказывается не столь уж велика.

Поскольку a — случайная величина, то значение функции $f\ (x,\ a)$ будет также случайной величиной. Поэтому исходную задачу в тех случаях, когда речь идет о многократно повторяющихся операциях, естественно заменить некоторой вероятностной. Замена одной из этих задач любой другой является актом неформальным, ибо эти задачи — совершенно разные. И вообще, какие бы критерии мы в этой ситуации ни формулировали, их выбор в любом случае не является строгой математической операцией. Он будет отражать лишь наше предположение о том, что определение параметров системы, произведенное согласно новому, введенному нами правилу, обеспечивает ей желаемое качество.

Можно показать, что задача принятия решения в условиях неопределенности природы, когда параметр, характеризующий эту неопределенность, случаен, имеет много общего с задачей принятия решения в условиях неопределенности цели. В этой ситуации математик должен ввести дополнительную гипотезу — произвести свертку критериев. А свертка критериев всегда является актом неформальным, и любой из критериев, с помощью которых исследователи считали возможным производить выбор стратегии, будет только гипотезой. Это утверждение справедливо в равной степени и для многократно повторяющихся операций, и для одноразовых.

С аналогичной ситуацией математик сталкивается и при анализе ограничений. Обычно ограничения разделяют на две группы: физические и критериальные. Вторые определяются требованиями к конструкции или проекту. Например, проектируя пассажирский лайнер, мы хотим кроме достижения максимальной экономичности, чтобы его крейсерская скорость была, например, не меньше 800 км/ч; распределяя землю под посевы зерновых, нам нужно добиться урожая максимальной стоимости, но при заданной структуре конечного продукта. Эти ограничения не очень жесткие. Они находятся в распоряжении субъекта и в принципе могут быть нарушены или изменены. Отступление от них не противоречит физике процесса, физическим законам.

Иное дело — ограничения физические, которые являются следствиями законов сохранения. Например, обозначим через q_i норму полива — количество воды, которое мы должны направить на орошение единицы земельной площади x_i. Тогда

$$\sum_i q_i x_i \leqslant Q, \quad (1.1)$$

где Q — общее количество воды, которое накоплено в водохранилище. Кроме того, суммарная площадь земли, которую мы можем использовать под посевы, также должна быть фиксирована, т. е. величины x_i должны удовлетворять еще одному ограничению:

$$\sum_i x_i \leqslant X, \qquad (1.2)$$

где X — суммарная земельная площадь.

Условия (1.1) и (1.2) ни при каких обстоятельствах не могут быть нарушены, ибо (1.1) и (1.2) выражают законы сохранения. Это обстоятельство может вызывать трудности принципиального характера.

Существуют в задачах исследования операций неопределенности, связанные с существованием активных партнеров или же противников, действия которых мы не можем полностью контролировать. В исследовании операций особое место занимает изучение ситуации, в которой участвует много субъектов (много оперирующих сторон), каждый из которых стремится достичь своей цели и имеет для этого определенные возможности. При этом общий случай нетождественности интересов (целей) партнеров называют конфликтом. Анализ производится всегда с позиций интересов какого-либо из партнеров. Пусть мы будем партнером А. В связи с тем, что исход нашего выбора зависит от выбора партнера Б, мы должны принять некоторую гипотезу о поведении Б. А оно, в свою очередь, будет зависеть от характера информированности Б. Здесь возможно несколько гипотез. Типично следующее: мы никогда не знаем точно целей наших партнеров (противников), а они, в свою очередь, не очень точно знают наши цели. При анализе конфликтной ситуации с этим надо считаться. Несоответствие реальности тех представлений, которые имеют партнеры, порождает дополнительную трудность формирования гипотез о поведении, без которых невозможно принять более или менее обоснованные решения. Для построения гипотез о поведении других партнеров мы должны формулировать гипотезы об их информированности.

После обзора ряда проблем исследования операций содержание этой дисциплины схематично можно представить в следующем виде:

1) математическое описание — создание модели операции;

2) анализ неопределенностей и формализация понятия цели(формирование целевой функции, критерия);

3) решение возникших оптимизационных и других математических задач.

Эта схема достаточно условна, ибо указанные разделы тесно переплетаются в процессе исследования конкретной операции.

Построение модели операции, а с него начинается любое исследование, требует глубокого понимания специфики процесса и тех возможностей математического анализа, которыми располагает исследователь операции. На этом этапе речь идет о «физике» процесса. Мы еще не говорим о цели исследования, но она уже неявно присутствует: модели экономического процесса, предназначенные для выбора альтернатив развития энергетики региона или развития систем орошения того же региона, будут разными, хотя развитие энергетики нельзя отделить от развития сельскохозяйственного или какого-либо другого производства. Но уровень детализации отдельных блоков будет совершенно иным. В модели, описывающей экономическое развитие региона, предназначенной для выбора альтернатив развития энергетики, сельское хозяйство, например, будет описано в очень агрегированных (интегральных) показателях, но зато все особенности производства энергии будут описаны со многими деталями. В модели региона, предназначенной для анализа развития систем орошения, наоборот, сельскохозяйственное производство должно быть описано очень детализированно, но зато энергетика будет входить в модель только своими агрегированными показателями. Таким образом, предназначение модели накладывает определенный отпечаток на исходные позиции ее формирования.

Важным элементом исследования является изучение той информации, которая оказалась в руках исследователя. Он должен решить, в какой степени эта информация соответствует построенной модели и, может быть, видоизменить тем или иным образом модель (например, ввести некоторые новые характеристики и т. п.). Еще один аспект в проблеме изучения соответствия модели и информации связан с тем, что информация в силу обстоятельств, находящихся вне компетенции исследователя, может быть неточной или недостаточно точной. В этих условиях чрезмерная детализация модели (стремление добиться «предельной адекватности» модели реальному процессу) будет не только ненужной, но и просто вредной.

Следующая группа проблем — это формирование критерия и гипотез, преодолевающих неопределенность. Начинают обычно с перечисления критериев (показателей), предельных возможностей. Существенным элементом является изучение множества Парето для наиболее важных критериев. В конечном счете математик все равно придет к некоторой свертке критериев. Поскольку возможны различные варианты свертки, то необходим их анализ и сравнение результатов.

Как бы ни важна была интуиция и логика обычного «здравого смысла», на этапах формирования модели и критерия огромную роль играет математический анализ: определение предельных оценок, структуры множества Парето и многие другие вспомогательные задачи исследования любой операции. Это — непрерывный, последовательный диалог с природой, цепочка математических экспериментов. В исследовании операции именно математические эксперименты заменяют исследователю физический, натурный или модельный эксперимент.

Для формирования этой области математики важным оказалось введение понятия системы человеческой деятельности. Исследование операций не могло бы и возникнуть без этого понятия. Рассмотрим его. Известно, что существуют разные типологии систем. Типологическая схема сама является сконструированной абстрактной системой. Она дает не столько описание реальности, сколько набор концептуальных типов, используемых в системном описании реальности. Рассмотрим следующую типологию систем:

- системы естественные,
- системы сконструированные, физические,
- системы сконструированные, абстрактные,
- системы человеческой деятельности.

Естественные системы являются сами по себе результатом тех сил и процессов, которые происходят во Вселенной. Эти системы не могут быть иными, чем они есть. Можно наблюдать в окружающем нас мире и такие сущности, объекты, процессы, которые подобны естественным системам во всех отношениях, кроме одного: они могут быть другими, чем те, какие они есть. Дело в том, что эти системы являются результатом сознательного конструирования — сконструированными вещественными системами. Они сконструированы человеком как результат некоторой человеческой цели, которая является их первопричиной. Они существуют, чтобы служить этой цели. Этот класс систем простирается от молотка до космических кораблей.

В мире много также того, что не является вещественным артефактом, но при этом создано человеком. Это можно описать как сконструированные абстрактные системы, такие как математика, или философия, или роман. Они представляют собой сознательный продукт человеческого разума. Будучи абстрактными системами, они благодаря вещественной конструкторской деятельности могут быть помещены в вещественные системы: книги, фильмы, электронные диски и прочее.

Действие человека в конструировании само по себе является примером четвертого класса систем: систем человеческой деятельности[6]. Эти системы менее осязаемы, чем естественные или сконструированные, но, тем не менее, в жизни мы можем наблюдать бесчисленные виды человеческой деятельности, которые более или менее упорядочены в целое как результат некоторой выдвинутой цели или задачи. Это системы, которые могут состоять как из одного человека с молотком в руках, так и представлять собой международную политическую систему. Этот класс систем имеет очень широкий охват.

Каждая система из этого необъятного класса состоит из некоторого количества деятельностей (действий), связанных вместе некоторым принципов связности. При этом всегда будет за ней стоять называемое лицо, заинтересованное в рассмотрении набора действий как целого. Определение системы человеческой деятельности ограничивают самими человеческими действиями,

[6] См.: *Checkland P.* System Thinking. System Practice. 1990.

а связанные с ними другие, естественные или сконструированные, системы называют и описывают в надлежащее время.

Система человеческой деятельности фундаментально отличается по своей природе от естественных систем. Прежде всего она являются сконструированной. Кроме того, они могут изменять самих себя, поскольку человек обладает самосознанием, свободой выбора своих действий, некоторой самостью. Наличие человеческого в человеке означает, что описание системы человеческой деятельности не может быть подобно описанию естественной системы. Как правило, в описание системы человеческой деятельности включается описание позиции лица, с позиций которого производится исследование. Выше мы видели, как это происходит в исследовании операций. Еще прозрачнее это делается в системном анализе, и особенно в исследовании мягких систем (soft System).

Наряду с исследованием операций, развиваются близкие области науки, такие как теория управления, системный анализ, теория принятия решений. Во многом задачи исследования операций являются задачи статики. Теория управления сразу же была ориентирована на задачи динамики. После работ Л.С. Понтрягина и его школы в теории управления произошла определенная канонизация языка и методов. Благодаря этим работам оформилась **теория управления**. Управляемые системы трактуются как естественное развитие динамических систем, свойства которых считаются известными из теории дифференциальных уравнений. Введем понятие управляемой системы.

Пусть рассматриваются системы, которые описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями[7]:

$$x = f\,(x, u, t, \xi),$$

где x — n-мерный фазовый вектор, ξ — k-мерный ($k \leqslant n$) вектор возмущений (внешних воздействий), который может быть случайным (тогда он задан своим

[7] См.: *Моисеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа. М., 1981.

статистическим описанием), либо неопределенным (характеризующим недостаточность наших знаний об изучаемом явлении). В обоих случаях вектор ξ (t) задается своей принадлежностью к некоторому множеству

$$\xi (t) \in G_{\xi} (t) \forall t.$$

Вектор-функция u (t) размерности $m \leqslant n$ носит название управления, или управляющего вектора. Это свободная вектор-функция, которая находится в нашем распоряжении. Считается, что с системой ассоциирован некоторый субъект (оперирующая сторона, конструктор, который проектирует систему управления), способный и имеющий право принимать решения, т. е. выбирать управляющую функцию. Она может быть функцией времени $u = u (t)$, фазового вектора $u = u (x)$, функцией возмущения $u = u (\xi)$ или же иметь более общий вид $u = u (t, x, \xi)$.

Во всех тех случаях, когда вектор управления является функцией фазовых переменных и возмущений, предполагается, что эти величины известны или становятся известными субъекту к моменту принятия решения. Это предположение, в свою очередь, требует описания некоторого информационного процесса.

Выбор величины u обычно стеснен какими-либо ограничениями. Их можно записать в виде $u \in G_u \forall t, x, \xi$, где G_u — некоторое множество произвольного вида.

На изменение фазовых координат также могут быть наложены ограничения (фазовые ограничения), например, такие:

$$x \in G_x \forall t.$$

Иногда эти два условия приходится объединять (смешанные ограничения):

$$(t, x, u) G_{xu} \forall t.$$

Или:

$$(t, x, u, \xi) G \forall t.$$

Системы уравнений вида $x = f (x, u, t, \xi)$, к которым добавлены ограничения (множества) G_{ξ}, G_u, G_x, называют управляемыми системами.

Когда говорят об управлении, имеют в виду процессы формирования целей, отыскание и реализацию способов их достижения. Функция $u = u(t, x, \xi)$, после того как мы ее выбрали, является формализованным описанием способов достижения цели. В теории управления эта функция часто называется законом управления. Одной из основных задач теории управления является отыскание закона управления по заданной цели. Первым шагом проектирования системы управления является определение оптимальной программы. На следующем этапе нужно построить механизм управления, который реализовал бы найденную программную траекторию, т. е. обеспечивал бы достижение цели управления с максимальной точностью при заданном количестве ресурса управления. Проблема синтеза оператора управления (проектирование механизмов управления) является центральной проблемой анализа и проектирования систем. Проблема оказывается чрезвычайно сложной. Разработан ряд численных методов синтеза систем управления, ориентированных на использование электронной вычислительной техники. Они носят, как правило, эвристический характер: строгих результатов и строгих оценок почти нет. Поэтому естественнее говорить не об оптимальном синтезе, а о возможном, допустимом синтезе. Но в то же время разработаны конструктивные способы построения механизмов управления. Следовательно, появляется возможность их экспериментальной проверки с помощью ЭВМ. Машинный эксперимент на основе математических моделей открывает новую страницу в развитии методов исследования управляемых систем. В самом деле, имея в распоряжении тот или другой механизм управления (автопилот), реализованный в форме алгоритма, мы можем с помощью машинного эксперимента наблюдать результат его функционирования. Имея систему критериев, можем оценить его эффективность и решить вопрос о его применимости.

Таким образом, машинный эксперимент позволяет подключить к анализу систем управления неформальные методы. Это тем более важно, что на практике при создании технических систем управления, а особенно при создании систем управления хозяйственными комплексами, любая классическая постановка задачи, безупречная с точки зрения математики, является достаточно условной схематизацией того реального процесса управления, который мы исследуем.

В свете сказанного значение методов приближенного синтеза систем управления трудно переоценить. Но, став на путь построения операторов обратной связи с помощью эвристических процедур, мы переносим многие трудности в сферу машинного эксперимента. Его организация превращается в большую самостоятельную проблему.

Во многом как своеобразный синтез идей и принципов теории исследования операций и методов теории управления с возможностями вычислительной техники, сложилась другая область математических исследований — **системный анализ**.

В связи с активным привлечением к конкретным исследованиям математических методов с использованием электронно-вычислительных машин резко возрос интерес к философским вопросам создания математических моделей, их изучения, интерпретации и т. д., а также к вопросам о том, на каких базовых концепциях, касающихся истолкования реальности, и познавательного процесса, должен покоиться процесс математического исследования. Интеллектуальным ядром прикладной математики являются понятия (концепции) системы, сложности, модели, вычислительного эксперимента, информации.

Развитие прикладных исследований порождают новую онтологию — понимание реальности как сложно-системно организованной, наполненной при этом неопределенностями в своем поведении. Системные идеи позволяют размышлять над проблемами, с которыми редукционистский декартовский метод (каждая проблема может и должна быть разбита на возможно большее число простых частей) не может справиться. Особенно это касается проблем реальной жизни в отличие от проблем, формулируемых в лабораторных условиях. Но именно в решении реальных жизненных проблем помогает современная математика.

А само математическое исследование характеризуется рядом новых особенностей, не присущих ранее научной деятельности. Оказалось, что в прикладных математических исследованиях когнитивные коммуникации, достижение взаимопонимания специалистов разного профиля играют важнейшую роль в обеспечении плодотворности исследования. Основная задача специалиста в области прикладной математики заключается в том, чтобы построить математическую модель изучаемого явления и исследовать ее. Поэтому вполне оправданно прикладную математику часто называют наукой о математических моделях — о построении, исследовании, интерпретации и оптимизации такого рода моделей.

Известный отечественный математик В.В. Налимов в свое время обращал внимание на то, что «переход от изучения хорошо организованных систем к изучению плохо организованных систем, естественно, оказал влияние на общеметодологические концепции науки... Мы видим прежде всего, как изменяются требования, предъявляемые к математическому описанию наблюдаемых явлений. Понятие закона в науке заменяется более широким, хотя и очень расплывчатым понятием *модели*. Изменилась в связи с этим и сама система построения научных выводов. Стало меняться отношение к тому, что допустимо и что недопустимо в науке. Этот процесс еще далеко не закончился — быть может, он только начался. Моделирование — это отнюдь не абстрактно-научная деятельность»[8].

В следующих двух параграфах мы сосредоточим внимание на выявлении и описании особенностей когнитивных процессов в прикладной математике. Речь пойдет о двух основных аспектах таких процессов: гносеологическом и коммуникативном.

Гносеологические особенности прикладной математики

Компьютеризация математики наложила сильный отпечаток на математическую деятельность. В частно-

[8] *Налимов В.В.* Теория эксперимента. М., 1971.

сти, с тех пор как начал развиваться диалог человека и вычислительной машины, оказалось возможным экспериментировать с математическими задачами. Машинный, или вычислительный, эксперимент постепенно утвердился как метод исследования математической модели. На первом этапе своей истории ЭВМ казалась большим арифмометром. Она позволяла проделывать большую вычислительную работу. Зародилась наука о том, как с помощью ЭВМ следует проводить вычисления. Но само появление ЭВМ первоначально никак не разрушало традиционных канонов математического мышления. Только с появлением и усилением диалога между математиком и ЭВМ в математику начал входить вычислительный эксперимент и исследование принципов его организации. Со временем открылись такие горизонты использования математики, о которых раньше никто не догадывался. При этом изменилось и понимание того, что представляет собой математика.

Математическое моделирование с последующим машинным (вычислительным) экспериментом явилось одним из главных направлений в исследовании сложных систем. При этом ассимилируется опыт не только физического моделирования, но и опыт технических, инженерных наук. В этих исследованиях осуществляется синтез критериев научного познания, имеющих как истинностный, так и праксеологический характер.

В исследованиях сложных систем ключевая роль принадлежит современному математику. Математическая технология включает в себя следующие этапы: построение математической модели, построение ее вычислительной модели и алгоритма, проведение вычислительного эксперимента, исследование модели, интерпретация результатов. Новая область исследований накладывает существенный отпечаток на характер самой математической деятельности. В новой познавательной ситуации важным регулятивом математического исследования становится нематематическое знание. Оно может иметь различный характер. Это могут быть и научные эмпирические факты, и теоретическое знание о поведении тех или иных компонентов системы, и опыт практической деятельности с объектом, и мнения экспертов по исследуемой проблеме и т. д. Такое знание может оказаться необходимым на самых разных этапах исследования.

Итак, математическая деятельность тесно связана прежде всего с той реальностью, которую изучает математик с помощью ЭВМ. Более того, критерий эффективности предполагает, что поставленную проблему нужно решать не кому-нибудь когда-нибудь в будущем, в произвольное время, а в конкретные сроки и наличными средствами — конкретному коллективу, располагающему конкретной вычислительной машиной. В противном случае исследование теряет смысл. Эти ограничения оказывают существенное влияние на сам характер выбираемых или разрабатываемых методов исследования, которые, будучи научно состоятельными, вместе с тем позволяли бы решить проблему. Часто складывается такая ситуация, когда методы классической математики или вообще не применимы, или же требуют слишком много времени для решения. И тогда «вместо того, чтобы отправляться от общего аналитического решения и переходить к специфическому конкретному случаю, мы теперь признаем высокую полезность, хотя и лишенную математического изящества, эмпирического подхода к поставленным задачам», — писал Н.Н. Моисеев[9]. Мощность математического анализа оказывается недостаточной для решения проблем, которые складываются в исследованиях сложных систем.

В результате, в современных математических исследованиях по сравнению с классической математикой определенное своеобразие приобретают представления и о математической строгости, и о логической структуре математического построения, и о методах математического исследования. Кратко говоря, математическое исследование выходит за пределы чисто дедуктивного характера математических построений, как это имело место в классической («чистой») математике. Строгость, точность математического исследо-

[9] См.: *Моисеев Н.Н.* Математика ставит эксперимент. М., 1979.

вания задается не только требованием непротиворечивости исходных утверждений, но и характером самой познавательной задачи. Исходные постулаты математической модели обычно не исследуются на взаимную независимость. По выражению В.В. Налимова, эти математические исследования характеризуются мозаичной структурой системы суждений[10]. Другой выдающийся ученый В.М. Глушков также обращал внимание на различия по логической структуре между классической математикой, основным методом которой является метод дедукции, и современными математическими исследованиями, включающими в себя построение математической модели и исследование ее на ЭВМ. Он приводит пример решения задачи определения формы обводов корпуса корабля, обеспечивающей наименьшее лобовое сопротивление при движении с заданной скоростью. Решение осуществляется на основе перебора различных форм, исследования соответствующих моделей на ЭВМ и выбора в результате той, которая показала наилучший результат[11].

При исследовании математической модели также используются рассуждения, не носящие дедуктивного характера. Ими могут быть различного рода рабочие гипотезы относительно изучаемого явления. Они дают возможность делать различного рода упрощения при выборе вычислительного метода. Проиллюстрируем характер познавательных процедур такого рода на примере построения вычислительного алгоритма[12].

Конструирование вычислительного алгоритма означает прежде всего построение разностей схемы для математической модели, т. е. аппроксимацию исходной системы дифференциальных уравнений системой разностных сеточных алгебраических уравнений (подразумевается дискретизация задачи). Отсюда следует, что разностная схема близка к исходной диффе-

---

[10] См.: *Налимов В.В.* Логические основания прикладной математики. М., 1971.

[11] См.: *Глушков В.М.* Математизация научного знания и теория принятия решений // Вопросы философии. 1978. № 1.

[12] См.: *Самарский А.А., Попов Ю.П.* Разностные схемы газовой динамики. М., 1975.

ренциальной задаче лишь асимптотически, при неограниченном измельчании шагов сетки. Но поскольку шаги сетки всегда представляют собой конечные величины, возможно появление фиктивных источников (стоков) энергии, невыполнение некоторых важнейших законов сохранения.

В таких случаях принимают специальные меры. В численных методах и теории разностных схем сформулирован ряд принципов, которые следует соблюдать при построении разностных схем. Так, условием правильного отражения дискретной моделью основных свойств сплошной среды является принцип консервативности разностной схемы как требование выполнения основных законов сохранения массы, энергии, импульса. Практика научных исследований продемонстрировала высокую эффективность разностных схем, с помощью которых решен ряд сложных, практически важных задач магнитной гидродинамики, радиационной газовой динамики и др.

В процессе оперирования абстрактным теоретическим объектом, когда используется достаточно богатый математический формализм, осуществляются разные типы математических исследований, в ходе которых может теряться и искажаться информация. Ученый может получить и, как правило, получает такие математические выражения, отношение которых к реальности выяснить не всегда просто. Эти проблемы встают не только на этапе интерпретации теории, но и на таком, казалось бы, чисто математическом этапе исследования, как проведение математического эксперимента с исследуемой моделью, которая заведомо может быть реализована только на ЭВМ определенного типа. Данный этап исследования тоже выводит исследователя из области абстракции. Ему приходится пристально следить за тем, что стоит за математическими символами.

Так, в процессе исследования математической модели математику могут понадобиться какие-либо упрощения или ограничения относительно поведения величины, реконструируемой в модели, причем такое изменение задачи не должно приводить к искажению важных свойств реального объекта. Велика роль и эмпирических данных как регуляторов исследования. Если какие-то варианты исследуемого явления удается изучить экспериментально (посредством натурального эксперимента), то расчет таких вариантов по алгоритмической программе на ЭВМ приобретает особую ценность. Сравнивая результаты вычислений с данными эксперимента, исследователь судит о возможностях построенной математической модели, оценивает границы ее применимости. Может оказаться, что модель недостаточно точна или неполна. Тогда ее надо уточнять, дополнять, отражая в ней факторы, поначалу оставленные в стороне. Может оказаться и так, что модель слишком сложна, и те же результаты можно получить с помощью более простой модели.

Но если принят некоторый вариант математической модели, то, изменяя различные параметры задачи (коэффициенты уравнений, граничные, начальные условия и т. д.), можно провести детальное исследование изучаемого процесса в рамках принятой модели. Можно выявить какие-то закономерности, оценить влияние различных факторов и т. д., т. е. получить ценную информацию об объекте. Это особенно важно в тех случаях, когда с этим объектом вообще нельзя проводить эксперимент, или же когда нужно знать основные особенности будущей конструкции (экосистемы, климата, космического корабля и т. п.).

Применимость результатов расчета модели ограничена ее рамками. Вместе с тем в пределах этих рамок встает вопрос о недоверии (с точки зрения классической математики) результатам, полученным средствами современной математики на базе ЭВМ. Повод к недоверию дают некоторые особенности этого исследования, такие, как отсутствие теоремы существования, теоремы сходимости, приближенного решения не обычным «математическим», а каким-то другим, «машинным» путем и проч.

Так, Н.Н. Моисеев писал о проведенном им машинном математическом эксперименте в области изучения турбулентных течений жидкости следующее: «Эти исследования я проводил в 1959—1960 гг. и не рискнул их публиковать. Прежде всего мои аппроксимации были очень грубые, а улучшить их я не мог — возможности моей ЭВМ были крайне ограничены. Но не только это. Уж очень сомнительными мне казались и метод, и отсутствие привычных доказательств. Я стеснялся рассказать о своих машинных экспериментах. Свою гипотезу в те годы я рассказывал только один раз... В гипотезу не поверили...»[13]

Но даже в том случае, когда все теоремы есть, задача поставлена корректно, выбран хороший численный метод, известна заранее точность, устойчивость алгоритма, то и тогда остается неконтролируемая погрешность, так называемая вычислительная погрешность, которая может исказить решение до неузнаваемости. Ясно, что в таком случае решению доверять нельзя.

Трудность заключается еще и в том, что для получения наилучшего приближения к точному решению задачи с помощью численного алгоритма, как правило, нужно выбирать достаточно маленький шаг интегрирования. Таким образом, для достижения высокой точности формально нужно проделать больше вычислений, а на каждом шаге накапливается вычислительная погрешность, которая может свести на нет все усилия. Эта погрешность, возникшая из-за шумов, случайных помех и т. д., зависит, конечно, от конкретной ЭВМ, но, так или иначе, возрастает с увеличением числа шагов.

Математики, выводя теоремы о сходимости тех или иных численных алгоритмов, оперируют модельным описанием процесса вычислений, которое не может учесть многие особенности реальности. Свойства этих погрешностей изучаются с различных сторон, их пытаются учитывать при построении численных алгоритмов конкретных задач. Математики (вычислители) изобретают различные обходные пути для преодоления этой сложности, опираясь на опыт, интуицию, понимание конкретного содержания задачи. Надо сказать, что проблема вычислительной сложности является одной из активно обсуждаемых.

Можно привести и другие примеры, иллюстрирующие непривычный для классической математики ха-

[13] *Моисеев Н.Н.* Математика ставит эксперимент. М., 1979.

рактер математического исследования, заключающийся в «выходе за пределы математики» к другим формам понимания объекта. Так, пусть интегрируется система дифференциальных уравнений, в частности система магнитной гидродинамики в линейном приближении[14]. При этом можно получить два типа решений: устойчивые, т. е. имеющие колебательный характер, и неустойчивые, развивающиеся по экспоненте. Именно эти неустойчивые решения и представляют интерес при решении такой задачи. Необходимо изучить, при каких параметрах они возникают, насколько быстро развиваются. Выбрав численный метод, обеспечивают его устойчивость как алгоритма. Неустойчивым методом получить достоверное решение, как правило, нельзя.

Поскольку система уравнений сложна, то достаточное условие устойчивости получить трудно. Поэтому, выбрав некоторое условие, близкое к априорной теоретической оценке, исследователь пишет программу для ЭВМ, обрабатывает результат машинного счета — и... не может отличить решение, неустойчивое физически, от решения, неустойчивого численно. Конечно, постепенно накапливаемый опыт, серии тестов позволяют отделить одно от другого и в итоге с уверенностью сказать: вот решения, имеющие физический смысл, а вот решения недостоверные, побочный продукт алгоритма. Но это делается больше не формализованным способом, а с помощью накопленного опыта работы с такого рода моделями, с помощью интуиции.

В современной математике происходят такие события, которые эквивалентны революции в целях и методах исследования. Характер многих математических исследований порождает вопросы, к ответу на которые классическая математика вообще не была подготовлена. Сам способ преодоления математикой возникших трудностей находится в определенном противоречии с установившимися взглядами на содержание математического анализа. И чем дальше идут исследования, чем шире спектр проблем, требующих использования ЭВМ, тем яснее становилась необходи-

[14] См.: *Самарский А.А., Попов Ю.П.* Разностные схемы газовой динамики. М., 1975.

мость формирования новых взглядов, новых оценок и критериев, привыкания к ним.

Обсуждая проблемы ведения оптимизационных расчетов, Н.Н. Моисеев пришел к следующему выводу, подтверждаемому всей практикой работы современного математика: «Прежде всего успех, как правило, сопутствует тому специалисту, тому машинному математику, который стремится вести содержательный анализ. Решая гидродинамическую задачу, он становится гидродинамиком; рассчитывая траектории космического аппарата, он становится специалистом — ракетчиком; отыскивая параметры гидротехнического сооружения, он становится и инженером-гидротехником и т. д. И это проникновение в суть изучаемого явления, по-видимому, необходимо для успеха. Это некоторый принцип, отклонение от которого влечет печальные следствия»[15].

Успех опытного математика в конечном счете обусловлен привлечением неформальных соображений. В частности, алгоритм как инструмент вычислений должен быть разумным сочетанием формальных и неформальных процедур.

Перед математиками стоит целый ряд задач, далеких от классической математики, которые связаны с развитием и использованием компьютерной техники. Стали тесно взаимосвязанными, взаимообусловленными все звенья математического исследования: понимание объекта, математическая модель, алгоритм, программа, ЭВМ. Это влечет за собой зарождение новой науки — математической технологии, главной задачей которой является анализ структуры и связей между различными звеньями математического исследования; исследование, пронизанное содержательным единством, требует единства и в своей организации[16].

Математическое описание сложных процессов, протекающих в природе, технических конструкциях, в обществе, являясь в некотором отношении дальнейшим развитием математического моделирования, имевшего

[15] *Моисеев Н.Н.* Математика ставит эксперимент. М., 1979.

[16] См.: *Яненко Н.Н.* Методологические проблемы современной математики // Вопросы философии. 1981. № 8.

место в классической математике, вносит в него и совершенно новые черты. В классической математике математическое моделирование имело в основном следующие разновидности[17]:

- построение операционных систем (векторные пространства, группы, кольца, поля, функциональные пространства);
- алгоритмы (алгоритм Евклида, алгоритм решения алгебраических, полиномиальных, уравнений в радикалах, алгоритм Картана);
- исчисления — дифференциальные, интегральные, вариационные;
- решение сложных систем уравнений – интегральных, дифференциальных, интегродифференциальных и т. д.

Математическое моделирование в классической математике во многом опиралось на понятие бесконечного и понятие идеальных математических объектов, образующих некоторую операционную систему. В современном же математическом моделировании большую роль играет поток внешних по отношению к математике факторов: прежде всего, данные эксперимента, «фактор реального времени, экономические ограничения, предопределенные сроки исследования. Поэтому наряду с идеальными объектами классической математики современная вычислительная математика интенсивно использует такие реальные конечные математические объекты, как машинное число, программа и конечный автомат»[18].

Анализ современных прикладных исследований показывает, что характер математической деятельности в этой области часто существенно отличается от характера математической деятельности, присущего классической математике. Кратко охарактеризуем эти отличия[19].

---

[17] См.: *Яненко Н.Н.* Методологические проблемы современной математики // Вопросы философии. 1981. № 8.

[18] Там же.

[19] См.: *Блехман И.И., Мышкис А.Д., Пановко Я.Г.* Прикладная математика: предмет, логика, особенности подходов. Киев, 1976.

1) Прежде всего обратим внимание на тот факт, что здесь математик выходит за пределы действия принципа работы в области классической математики, согласно которому явно или неявно предполагается, что если задача сформулирована на математическом языке, то она полностью переходит в сферу математики. В прикладных исследованиях дело обстоит иначе. В самой постановке математической задачи в прикладных исследованиях часто сочетаются классическая и неклассическая постановка вопроса.

2) Даже если задача поставлена классическим образом, то в процессе ее решения могут встречаться переходы типа логических скачков, что, конечно, недопустимо в классической (чистой) математике. В классической математике не существует понятий «не вполне доказанное утверждение» или «не совсем строгое доказательство» и т. п. В ней все не вполне доказанное является недоказанным, все не вполне строгое является нестрогим. Поэтому появление в цепи рассуждений хотя бы одного логического скачка делает всю цепочку лишенной доказательной силы, хотя остальные звенья цепочки и характеризуются как строгие.

3) Складывается следующая ситуация: исследование математической модели осуществляется в рамках математики; но оно проводится средствами, которые классической математикой не допускаются. В результате проявляется противоречивость требований к строгости и доказательности в классической математике и в прикладных исследованиях. Уровень строгости в прикладной математике представляет собой уровень строгости, отличный от уровня строгости в классической математике. Он является более близким к уровню строгости в физических исследованиях.

4) Прикладная математика не может ограничиваться, как это делает классическая математика, одними дедуктивными рассуждениями. В ней выработался свой стиль рассуждений. Он состоит в сочетании дедуктивных рассуждений и недедуктивных, но рациональных рассуждений. Рациональными рассуждениями называют рассуждения, неприемлемые с точки зрения классической математики, но способные приводить к правильным результатам.

Логические особенности прикладной математики

Теперь перейдем к подробному рассмотрению характерных черт логики прикладной математики и особенностей прикладной математики, связанных с выбором математической модели и метода ее изучения.

Рассмотрим вопрос о постановке задачи. Очень важно иметь в виду, что эти проблемы являются жизненно-практическими, а не исключительно абстрактными, идеальными. Этот жизненный мир непосредственно врывается в деятельность математика. Например, часто возникает следующая проблема: для решения некоторого класса задач предлагается некоторый метод; требуется выяснить, является ли этот метод приемлемым. Понятие приемлемости является и не классическим, и не формальным. Оно может включать в себя соображения о возможности вычислительной системы, на которой будут производиться вычисления, о разумной точности, которой мы хотим достичь, об удовлетворении временных или экономических ограничений и т. п. При этом сам класс задач может быть не вполне определен и в процессе самого исследования приходится уточнять даже саму постановку задачи.

Примером могут служить задачи в области системного анализа, применяемого для поддержки принятия решения, когда итерационным образом происходит уточнение целей, критериев, границ проблемы.

К решению прикладных задач предъявляются требования, которые в чисто математических исследованиях считаются второстепенными: задача должна быть решена не только правильно, но и своевременно, экономно с финансовой стороны, решение должно быть доступным для существующих вычислительных средств, пригодным для использования, точность решения должна соответствовать задаче и т. д. Очень часто задача считается решенной только в том случае, если имеется эффективный метод, дающий требуемый результат с достаточной точностью за приемлемый отрезок времени. Как писал Бахвалов Н.С., «лучше найти удовлетворительное решение задачи, но в срок, чем получить полное решение задачи к тому времени, когда оно станет бесполезным»[20].

Специфика метода рассуждений в прикладной математике проявляется в использовании и формальных, и неформальных понятий, в апелляции к интуитивной убедительности как к форме доказательности рассуждений, часто именно интуитивная убедительность является важным критерием правильности.

Одним из основных принципов классической математики является то, что все свойства любого изучаемого понятия должны вытекать только из его формального определения. Все утверждения должны включать только формально определенные понятия. При этом логические соотношения между ними определяют истинность или ложность утверждения.

В классической математике все свойства решений задачи потенциально полностью предопределяются ее формулировкой. Любое изменение формулировки означает переход к новой задаче, поэтому исследование задачи не должно привлекать добавочных предположений и других уточнений, которых не было в ее формулировке.

В прикладной же математике понятия и утверждения часто имеют такой же характер, как в нематематических дисциплинах и даже в обыденной жизни. Так, могут применяться понятия, вообще не имеющие формального определения или имеющие определение, не обладающее полной логической четкостью.

Но даже если применяется чисто математическое понятие, то за ним все время скрывается неформальный нематематический объект, и поэтому это понятие включает в себя больше, чем то, что содержится в его формальном определении.

При сравнении методов рассуждения в классической и прикладной математике встает вопрос о понятии математической строгости. Из общей концепции строгости в математике следует, что не существует ни абсолютной строгости, ни абсолютной точности. Уровень строгости различен в различных областях знания;

---

[20] *Бахвалов Н.С.* Основы вычислительной математики. М., 1970.

он меняется с развитием этих областей, складываясь в связи с их задачами и методами. Изменяется характер научного познания, а вместе с этим и трактовка того, что признается познанным, какие средства рассуждения при этом считаются допустимыми. Причем в одно и то же время в разных разделах математики могут быть разные понятия строгости в соответствии с традициями и целями этих разделов. Так было в период Возрождения с геометрией и математическим анализом, позже свои требования строгости были в теории вероятностей; совсем другие уровни строгости имеют место в математической логике и в основной части чистой математики.

В прикладной математике сложились свои требования строгости. Уровень строгости и весь образ мышления классической математики хотя и применяются в прикладной математике, но не могут ее полностью удовлетворить. Даже когда задача полностью сформулирована на чисто математическом языке, проведение ее исследования на чисто дедуктивном уровне в подавляющем большинстве случаев оказывается невозможным. Здесь математик обязан выбирать уровень строгости и образ мышления, адекватный решаемым им задачам. Они определяются, как уже отмечалось, сочетанием дедуктивных и рациональных рассуждений.

Математик учитывает как математическую, так и не-математическую (жизненную: физическую, экономическую, техническую и т. п.) сторону задачи, связывая одну с другой. Каждая возникающая математическая трудность ведет к дополнительному исследованию, направленному на выяснение источника трудности: вызвана она не-математическим аспектом задачи, ошибкой при формулировании и выборе метода или является просто математическим затруднением, которое можно преодолеть. Прикладная математика изучает методы привлечения неформальных соображений к решению формализованных задач, конкретной областью приложения определяются классы этих задач и этих соображений.

Важность этой стороны прикладной математики оттеняется существованием предложения разделять классическую математику и прикладную математику как области математики следующим образом: математики, ведущие исследования в классической области, имеют дело с символами, их комбинациями и свойствами в формализованном виде. Математики же, работающие в прикладной области, интересуются значением символов, т. е. смысловым содержанием теории, связанной с реальным миром. При этом очевидно, что проблема единства математики становится одной из важных в философии математики.

Водораздел между классической и прикладной математикой лежит и в характере применяемой логики. Логика прикладной математики имеет некоторые стихийно установившиеся черты: способы доказательств, критерии достоверности и т. д.; при этом аналогичные способы и критерии, известные в классической (теоретической) математике, в приложениях часто оказываются лишними или не работают. Здесь можно говорить о рациональных определениях, утверждениях, доказательствах и т. п. По отношению к этим утверждениям в литературе на равных правах со словом «рациональное» употребляется термин «правдоподобное», что идет от работ Д. Пойа[21]. Близкий смысл имеет также термин «эвристическое рассуждение».

Одна из важнейших особенностей рациональных рассуждений, отличающих их от чисто дедуктивных, состоит в том, что они могут включать понятия, которые с точки зрения классической математики не являются точно, однозначно определенными. Содержание рационального понятия может уточняться в ходе исследования. Они могут для разных людей и в разное время несколько отличаться.

Вот хорошо известный исторический пример. После одного из докладов в МГУ Р. Беллман на вопрос: «Может ли машина мыслить?» — написал это предложение на доске, а затем сказал, что в нем вполне определенным и понятным является только знак вопроса «?». Это типично рациональная постановка проблемы,

---

[21] См.: *Пойа Д.* Математика и правдоподобные рассуждения. М., 1975.

решение которой существенно зависит от уточнения участвующих в ней понятий.

Рациональным является подавляющее большинство рассуждений в естественных и социальных науках, в технике, житейской практике (за исключением отдельных дедуктивных вкраплений). Рациональные рассуждения, свойственные прикладной математике, характеризуются понятием степени достоверности (правдоподобия, уверенности, надежности) правдоподобного утверждения. Оно выражает степень уверенности в его справедливости. Эта характеристика имеет сложную природу и трактуется неоднозначно. Так,

- Д. Пойа считает, что эта характеристика определяется только самим утверждением.
- И.И. Блехман и его соавторы полагают, что она является в значительной мере субъективной характеристикой психологического состояния, вызванного комплексом объективных причин; что эта характеристика определяется не только самим утверждением, но и оценивающим субъектом, а также формально моментом времени, т. е. фактически характером имеющейся у субъекта информации, связанной с данным утверждением, и психологическим состоянием субъекта. Но поскольку эта характеристика основана на объективных факторах, то в определенных обстоятельствах она может стать общезначимой; именно тогда она и представляет наибольший интерес. Они отмечают, что степень достоверности в некоторых отношениях аналогична понятию субъективной вероятности.

Приведем, следуя И.И. Блехману и его соавторам, примеры некоторых типов рациональных рассуждений, распространенных в прикладной математике.

а) Применение формулировок, включающих неточно определенные понятия.

б) Применение утверждений, справедливых в реальных случаях, хотя и допускающих построение искусственных противоречащих примеров, единственная цель которых состоит в показе дедуктивной неполноценности соответствующего утверждения. Прикладной математик видит за каждым понятием не просто логическое следствие из принятой системы аксиом, а модель некоторого реального объекта. В прикладной математике, решая вопрос о границах применимости формулы, он привлекает также ту информацию, которая в ней не записана.

в) Уточнение в ходе исследования. В прикладном исследовании математический объект далеко не всегда имеет независимый смысл, полностью вытекающий из формального определения; этот смысл может проистекать из того, что данный математический объект служит математической моделью реального объекта.

Но важно иметь в виду, что математическая модель определяется реальным объектом неоднозначно. Даже при сохранении принципиальной схемы модели реальный объект можно описывать с различной степенью точности и детализации, что дает возможность варьировать и соответствующую математическую задачу по мере ее исследования.

В соответствии с ролью реальных факторов в математической задаче могут делаться различные упрощения и видоизменения в случаях, представляющих наибольший практический интерес, вводиться дополнительные предположения, упрощающие математическое исследование или позволяющие провести это исследование более широко. Апеллируя к реальному смыслу математической задачи, математик может ее видоизменять и уточнять, иногда даже менять цель исследования.

Рабочие гипотезы, выдвигаемые по отношению к решению задачи в процессе ее исследования, являются важными видами рациональных рассуждений. Если они опираются на реальную интерпретацию математической задачи, то могут оказаться решающими. С другой стороны, эти гипотезы могут открывать возможность для необоснованных выводов.

г) Доводы, основанные на аналогии или эксперименте (натурном или вычислительном). Они обязательно лежат за пределами чистой дедукции.

Поскольку решение прикладной задачи обычно включает целую цепь рациональных переходов (физические гипотезы, построение математической модели, рабочие гипотезы при ее исследовании, различные упрощения, выбор вычислительного метода, реализация вычислений и т. п.), то расхождение решения с физическим экспериментом может говорить:

- либо о том, что по крайней мере один из этих переходов является необоснованным;
- либо же о том, что хотя каждый переход и обоснован в отдельности, но их погрешности, накопившись, вывели общий результат за допустимые рамки.

Натурный эксперимент может быть рационально включен в качестве одного из этапов решения прикладной задачи, поскольку иногда некоторые зависимости, в принципе поддающиеся математическому расчету, проще построить эмпирически.

д) Доказательство, основанное на рассмотрении частных случаев. Этот способ рассуждений носит в общей логике название индукции и весьма широко применяется за пределами математики. (Конечно, все типы таких рациональных рассуждений в той или иной степени правдоподобны.) Причины применения подобных доказательств:

- дедуктивное доказательство может быть недоступным из-за своей трудности;
- доказываемое утверждение формулируется в рациональных терминах и потому в принципе не допускает чисто дедуктивного доказательства;
- хотя утверждения формулируются в чисто дедуктивных терминах, но с самого начала пользуются индукцией, которая может оказаться существенно менее трудоемкой и в то же время не менее убедительной.

Доказательство на примерах. Чем больше разобрано примеров, охватывающих по возможности различные ситуации, тем заключение убедительнее; однако бывают задачи, в которых разбор каждого примера вызывает настолько большие трудности, что даже второй пример может уже оказаться недоступным. Доказательство на примерах особенно часто встречается в сочетании с вычислительным экспериментом.

е) Использование результатов приближенного решения при отсутствии строго доказанной конкретной оценки ошибки.

ж) Применение вычислительных методов, сходимость которых доказана. Такая ситуация является довольно распространенной при решении дифференциальных и интегральных уравнений математической физики. Сходимость метода, а также его устойчивость относительно ошибок округления чаще всего проверяются лишь для модельных уравнений простейшего вида.

з) Изучение и применение решения задачи в случаях, когда соответствующие теоремы о разрешимости (т. е. о существовании и единственности решения) не доказаны. При решении прикладной задачи чаще не занимаются размышлениями о том, доказана ли соответствующая теорема о разрешимости и как в противном случае ее доказать. Вместо этого пытаются выяснить на рациональном уровне на основе опыта, аналогий или исследования модельных задач вопрос о правильности постановки математической задачи.

и) Применение практической бесконечности, т. е. трактовка бесконечно малых и бесконечно больших величин как постоянных, но имеющих иной порядок по сравнению с другими величинами.

к) Применение понятий вне рамок их первоначального определения. Так, интеграл, первоначально определенный для непрерывных функций, может применяться и для разрывных функций. Какой-либо параметр, по первоначальному смыслу принимавший вещественные значения, может в некотором рассмотрении оказаться принимающим комплексные или матричные значения и т. д. Именно таким путем были в свое время введены в математику мнимые числа, дельта-функция Дирака и т. д.

Ряд примеров других типов рациональных рассуждений мы видели также выше при описании основных черт исследования операций. С помощью рациональных рассуждений математик может приходить к практически достоверным выводам. Однако логическая структура рациональных рассуждений, несомненно, сложнее, чем дедуктивных, и они могут приводить к ошибкам. Поэтому весьма важно понимать возможные причины таких ошибок, сознательно повышая степень достоверности полученных рациональных утверждений.

Сочетание дедукции с рациональными рассуждениями, свойственное прикладной математике, является ее характерной чертой. Н.Н. Моисеев обращал внимание на то, что математик с традиционной классической манерой мышления часто оказывается бессилен там, где инженер получает результаты, вполне удовлетворяющие практику. Поэтому для успеха в работе необходимы развитое неформальное мышление, умение рассуждать по аналогии, дающие основания ручаться за достоверность результата там, где с позиций логики и классической математики ручаться нельзя.

Система рассуждений в математическом исследовании может иметь весьма неоднородную структуру. Она может включать физические соображения, ссылки на интуицию, различные более или менее правдоподобные упрощения, решение математических задач и ссылки на теоремы на чисто дедуктивном уровне, вычисления, другие рациональные элементы. Каждая из этих составных частей имеет свои более или менее установившиеся требования к логической определенности и представления о доказательности. В.В. Налимов охарактеризовал эту ситуацию термином «мозаичность логических структур прикладной математики». В сложном рациональном рассуждении чисто дедуктивные элементы не имеют преимуществ перед другими рациональными элементами, их совместное использование не сказывается на степени достоверности. Математик разрабатывает схемы рассуждений, которые позволяют контролировать и повышать правдоподобие рациональных суждений. Часто ему удается сделать решение практически достоверным.

Коммуникативные аспекты прикладной математики (проблема взаимопонимания ученых разных специальностей)

Проблематика когнитивных коммуникаций между учеными — одна из новых и центральных проблем для современной философии науки. Классическая философия науки (от Декарта и Бэкона до постпозитивистов) абстрагировалась от нее, так как считала, что содержание научного знания и проблема его научной истины полностью и исключительно определяются взаимоотношением субъекта и объекта научного познания. Современная философия науки исходит из того, что содержание субъект-объектных отношений существенно зависит от субъект-субъектных отношений в науке, то есть от коммуникаций между учеными. Прежде чем перейти к рассмотрению специфики коммуникационных отношений в математике, рассмотрим некоторые общие подходы к роли и значению коммуникаций в научном познании вообще.

Мир абстракций современной науки — это очень разветвленный, практически безграничный для личности мир. В наше время можно достаточно уверенно утверждать, что никто, даже самый великий ум, не владеет им в полной мере. Большинство же подключается к нему в весьма ограниченной степени. Однако можно столь же уверенно утверждать и другое: несмотря на огромный объем весьма различной научной информации, современная наука тем не менее представляет собой нечто единое, некое в достаточной степени организованное образование. Возникает вопрос: могут ли и за счет чего ученые разных специальностей понимать друг друга, возможен ли контакт между учеными, специализирующимися в различных областях; если он возможен, то насколько он может быть плодотворным? В современной философии науки можно выделить две положительные версии ответа на этот вопрос. Первая версия — это позиция К. Поппера. Вторая версия — позиция Г. Башляра.

К. Поппер в своей работе «Миф концептуального каркаса» развивает идею о том, что различные концептуальные каркасы не препятствуют рациональной дискуссии: «Миф концептуального каркаса можно выразить в одном предложении: "Рациональная и плодотворная дискуссия невозможна, если участники ее не имеют общего концептуального каркаса основных предпосылок или по крайней мере не достигли соглашения по поводу такого каркаса с целью проведения дискуссии"»[22]. Эту идею и критикует К. Поппер. Он пишет: «...этот миф содержит в себе и зерно истины. Хотя я уверен в том, что мнение о НЕВОЗМОЖНОСТИ плодотворной дискуссии вне рамок общего концептуального каркаса неоправданно преувеличено, я все же готов признать, что для тех ее участников, которые не разделяют общего концептуального каркаса, дискуссия может представлять серьезные затруднения. Дискуссия будет затруднена и в том случае, когда концептуальные каркасы, используемые различными ее участниками, имеют мало общего между собой, но она будет тем легче, чем больше будет область совпадения этих каркасов. Действительно, когда участники дискуссии полностью согласны друг с другом, обычно оказывается, что они участвуют в самой легкой и спокойной из всех возможных дискуссий — хотя, по всей вероятности, такая дискуссия несколько скучновата.

Как же, однако, обстоит дело в отношении плодотворности дискуссии? В приведенной мною формулировке концептуального каркаса невозможной объявлялась именно ПЛОДОТВОРНАЯ дискуссия. В противовес этому я буду защищать тезис, что дискуссия между людьми, взгляды которых имеют много общего, вряд ли будет плодотворной, даже если сами участники считают ее весьма приятной и полезной. В то же время дискуссия между людьми, придерживающимися в корне различных каркасов, может быть в высшей степени плодотворной, даже учитывая то, что обычно бывает весьма трудной и, ВОЗМОЖНО, не столь приятной, как первая (хотя мы вполне можем научиться наслаждаться ею).

По моему мнению, о некоторой дискуссии можно сказать, что она была тем более плодотворной, чем больше ее участники узнали в ходе нее, иначе говоря, чем больше интересных и трудных вопросов было задано участникам дискуссии; чем больше им пришлось обдумать новых ответов; чем больше пошатнулись их мнения; чем радикальнее изменилась их точка зрения

[22] *Поппер К.* Логика и рост научного знания. М., 1983. С. 560—561.

в результате дискуссии, чем шире стал их интеллектуальный горизонт.

Понимаемая таким образом плодотворность дискуссии практически всегда будет зависеть от первоначального несовпадения мнений участников дискуссии. Чем больше эти несовпадения, тем плодотворнее МОЖЕТ БЫТЬ дискуссия, конечно, при условии, что, несмотря на утверждения сторонников мифа концептуального каркаса, такая дискуссия не является совершенно невозможной»[23].

К. Поппер обращает внимание на то, что «серьезные критические дискуссии всегда трудны. В них постоянно смешиваются нерациональные человеческие элементы. Для многих участников самое трудное в рациональной, т. е. критической, дискуссии, забыть то, что в нашем пронизанном спорами обществе знает каждый. Они должны усвоить, что победа в споре — ничто, в то время как малейшее прояснение какой-либо проблемы или ничтожнейшее небольшое продвижение к более ясному пониманию своей или чужой позиции — величайший успех. Вашу победу в дискуссии, которая ни в малейшей степени не помогла вам изменить или уточнить свои взгляды, следует рассматривать как полнейшую неудачу. По этой же причине изменения в позициях дискутирующих сторон нельзя производить тайно, а всегда следует их подчеркивать и исследовать их следствия.

Так понимаемая рациональная дискуссия — явление редкое, но в качестве идеала ее значение велико. И мы можем научиться достигать такого уровня дискуссии. Цель ее не в том, чтобы заставить противника перейти в другую веру; ее устремления скромны — вполне достаточно, чтобы мы почувствовали, что умеем теперь видеть вещи в новом свете или нам удалось хотя бы немного приблизиться к истине»[24].

К. Поппер утверждает, что «научный образ жизни предполагает пламенную заинтересованность в объективных научных теориях, теориях самих по себе, и в

---

[23] *Поппер К.* Логика и рост научного знания. С. 560—561.

[24] Там же. С. 571.

истинности этих теорий или по крайней мере близости их к истине. Этот интерес представляет собой КРИТИЧЕСКИЙ интерес, интерес к АРГУМЕНТАЦИИ. Именно поэтому он в отличие от некоторых других убеждений не порождает явлений типа описанной нами “несоизмеримости"»[25].

Таким образом, К. Поппер видит возможность взаимопонимания между учеными, разделенными даже концептуальными каркасами. Это взаимопонимание обусловлено самим характером науки, принадлежности каждого научного работника, ученого, к рациональной традиции, одним из основных компонентов которой, по Попперу, является критический рационализм, рациональная дискуссия, стремление к истине.

Другой вариант, в котором современная наука не рассматривается как вавилонская башня — это позиция Г. Башляра[26]. Г. Башляр подчеркивает: «...если работа рационалиста должна быть столь актуальной, ей должна быть присуща специализация. И здесь я ставлю на обсуждение вопрос о том, что я называю региональным рационализмом... Следует жить временем; следует жить проблемами современной науки, а это значит признать специализацию, ибо это необходимость! Поскольку именно специализация дает нам рациональный тонус! Именно она одухотворяет нас и приносит с собой уверенность в нашей неразрывной связи с прошлым!

Естественно, если мы останемся при этом в сфере чисто философского рационализма, то он не работоспособен; это рационализм, который вы не подвергаете опасности, который вы не делаете диалектичным; это рационализм, который вы не подвергаете давлению. И тогда мы становимся похожими на машину, повторяющую свои действия; у вас может возникнуть представление, что вы постоянно освещаете путь одним и тем же светильником, что вы определяете с помощью изначального света то, что, напротив, может быть ос-

---

[25] *Поппер К.* Логика и рост научного знания. С. 585—586.

[26] См.: *Башляр Г.* Новый рационализм. М., 1987.

вещено лишь посредством возобновляемых ежедневно внутренних условий.

Следовательно, нам нужно прийти не только к специализации, но и к такой специализации, которая продемонстрировала бы всю свою важность, всю свою широту. Специализация — это не узость взгляда. Специализация требует общей культуры! Если вы претендуете на развитие науки и решили получить степень лиценциата, вам надо многое знать... Теперь выбора нет: нужно охватить все! Но после того как получена ученая степень по физике, нужно отправляться в лабораторию, ибо тот, кто не работал в лаборатории, не знает, что такое лаборатория!.. Следовательно, нужно стать специалистом. И когда это произошло, вы чувствуете, что ваши глаза открылись.

Так что же представляет собой эта самая специализация? Она представляет собой весьма интересную область специальной связи. ...Я прочитал заметку о коллоквиуме, посвященном изучению механизма горения угля... Как, собственно, изучается горение угля?..

Представим себе, что нам нужно получить нить из максимально чистого угля. Затем будем изучать горение этой нити в атмосфере чистого кислорода, но под каким давлением? Тысячной доли миллиметра ртутного столба. Если вы поразмыслите над тем, когда химик или физик говорят о давлении в тысячную долю миллиметра ртутного столба, то вы поймете, сколько пришлось им затратить труда. Вряд ли закон Мариотта—Гей-Люссака поможет вам понять всю тонкость, точность этого процесса, всю, так сказать, массу техники, потребовавшейся для того, чтобы получить такое давление!

Итак, вы видите, что нужно, чтобы изучать механизм горения угля; ученые получили уголь и кислород особой чистоты, добились в высшей степени точного контроля давления, потому что необходимо давление в тысячные доли миллиметра ртутного столба. Но остается еще вопрос о температуре.

...Перед нами всего лишь маленькая стеклянная колба. И что же, собственно, перед этой колбой? Перед ней сообщество ученых — представителей трех наук: химии, физики и кристаллографии.

Казалось бы, вот люди, которые вовсе не созданы для того, чтобы понимать друг друга: физик и химик. Я хорошо представляю себе, как им трудно порой достичь взаимопонимания; это так же, как у историков: между теми, кто занимается Французской революцией, и теми, кто занимается историей Средних веков, всегда ведь царит определенное непонимание. Между тем химика, кристаллографа и физика специализация как бы связывает друг с другом и обязывает корректно обсуждать свои проблемы, забыв об уроках юности.

Этот простой пример хорошо иллюстрирует, на мой взгляд, связывающий характер специализации, зашедший достаточно далеко.

Так не будем же повторять известный лейтмотив о том, что наука, специализируясь, якобы суживает духовный горизонт! Напротив, она расширяет его. В связи с этим, — говорит Башляр, — я хотел бы подчеркнуть новую черту: следует показать, что эти специализированные согласно своим областям рациональности как бы сплавляются друг с другом с помощью межконцептуальных определений; кроме того, нужно показать, что, осваивая региональный рационализм, необходимо отказаться от всеобщей формы рационализма, оставить в стороне общие темы, приверженцами которых стать столь просто; нужно вступить в спор, нужно концептуально оформить отношения, которые дают в итоге этот региональный рационализм»[27].

Общая для науки проблема коммуникации между учеными, ситуация затрудненности во взаимопонимании между представителями разных специальностей является существенно важной и в области современной прикладной математики. Как неоднократно подчеркивал Н.Н. Моисеев, «вопросы математического моделирования — построение системы взаимосвязанных моделей — оказываются центральным пунктом всей той беспрецедентной по масштабам деятельности, которая начинает разворачиваться во всех развитых странах. При этом математик, точнее "машинный матема-

[27] *Башляр Г.* Новый рационализм. М., 1987. С. 292–296.

тик", оказывается не просто вовлеченным в эту деятельность. Если нужно, он начинает играть роль архитектора или конструктора, поскольку все конкретные исследования в области биологии, экономики, демографии, геохимии и т. д. должны явиться блоками в том здании, которое начинает строиться»[28].

Когда математик на место интуитивно ясной взаимосвязи явлений или величин ставит абстракцию и выражает функциональную зависимость через абстракции, — тогда именно в этом пункте не-математик может перестать понимать его. Математик интуитивную картину заменяет знаковой конструкцией. «Своими геометрическими, а позднее чисто символьными конструкциями математика стряхивает оковы языка, и тот, кто знает, какой гигантский труд вкладывается в этот процесс, и знаком с его неизменно повторяющимися поразительными успехами, не может не ощутить, что математика наших дней в своей сфере интеллектуального мира более эффективна, чем современные языки в их жалком состоянии и даже музыка в своих областях»[29]. Мощь современной науки опирается на единство знаковых конструкций и систематического опыта в форме планируемого и воспроизводимого эксперимента и измерения. Математика и поставляет знаковые конструкции, на базе которых разворачивается теоретическая схема, а затем и теоретическое видение предметной области. По выражению Вейля, «первая трудность, с которой сталкивается человек, когда его пытаются научить мыслить математически, состоит в том, что ему необходимо усвоить более прямой взгляд на вещи; его вера в слова должна быть поколеблена; ему необходимо научиться мыслить более конкретно и направленно. "Высота" — слово, имеющее вполне ясное значение, когда я спрашиваю, — говорит Вейль, — как высок потолок в этой комнате, — каково расстояние от пола до потолка. Значение этого слова становится все менее определенным, если мы станем применять его к относительной высоте горных

[28] *Моисеев Н.Н.* Математика ставит эксперимент. М., 1979.

[29] *Вейль Г.* Математическое мышление. М., 1989. С. 12.

вершин, расположенных на все более обширной территории. Его значение станет совсем зыбким и растворится в воздухе, если мы распространим его на весь земной шар, не подкрепив динамическим понятием потенциала. Потенциал более конкретен, чем высота, поскольку порожден распределением масс в земном шаре и зависит от этого распределения».

«Слова — орудия опасные, — продолжает Вейль. — Созданные для нашей повседневной жизни, они обладают привычным значением лишь при известных ограниченных обстоятельствах, но Пит и человек с улицы склонны распространять их на более широкие сферы, нимало не заботясь о том, сохраняют ли те при этом твердую опору в реальности или нет. Мы все не раз были свидетелями того, к каким тяжким последствиям приводит магия слов в сфере политики, где все слова имеют гораздо более расплывчатое значение и человеческие страсти нередко заглушают голос разума. Ученый обязан пробиваться сквозь туман абстрактных слов и достигать незыблемого скального основания реальности. Такого рода работа особенно тяжела, как мне кажется, в экономических науках, где и поныне требуется затрачивать большие усилия, чтобы жить в соответствии с этим принципом. Так обстоит или должно обстоять дело во всех науках, но физикам и математикам пришлось применять этот принцип к самым фундаментальным понятиям, где догматическое сопротивление особенно сильно, и поэтому следование этому принципу стало их второй натурой»[30].

В деятельности ученых математика и нематематика, а также математика и практика формируется ярко выраженное единство формального математического и неформального знания как условия решения проблемы. Н.Н. Моисеев, обсуждая вопросы постановки этой проблемы в исследовании операций и системном анализе, обращал внимание на то, что при организации исследования иногда делаются попытки разделить обязанности программиста-исследователя и «постановщика» задач. Такое разделение должно делаться с боль-

[30] *Вейль Г.* Математическое мышление. С. 9.

шой осторожностью. Конечно, на определенной стадии разделение обязанностей оказывается необходимым, и часть программистской работы может быть поручена специалистам в области машинного программирования. В особенности если это касается вопросов организации системы программ, управляющих программ, работ с массивами и т. д. Но что абсолютно необходимо для успеха исследования — это объединение в лице исследователя операции математика и специалиста, в тонкостях понимающего специфику предмета.

Новая область исследований накладывает свой отпечаток на характер математической деятельности, изменяет ее. В этой познавательной ситуации важным регулятивом математического исследования выступает неформальное, нематематическое знание. Математик вынужден не упускать из виду ту реальность, которая стоит за его символами и которую он изучает (или конструирует). Нематематическое знание может иметь различный характер. Это могут быть и научные эмпирические факты, и теоретическое знание о поведении тех или иных компонентов системы, и опыт практической деятельности с объектом, и мнения экспертов по исследуемой проблеме, и т. д. Такое знание может оказаться необходимым на самых разных этапах процесса научного исследования сложных систем.

Данный этап исследования тоже выводит исследователя из области абстракции в сферу конкретно-научных содержательных знаний об объекте. Ему приходится пристально следить за тем, что стоит за математическими символами. Это довольно сложный познавательный процесс, в котором осуществляется своеобразный синтез математического и нематематического знания. В качестве реальной стоит проблема формирования математического мышления у специалиста другого профиля, его доверия к математическим методам, а также достаточно глубокого понимания особенностей изучаемого объекта со стороны математика.

Так, в процессе исследования математической модели математику могут понадобиться какие-либо упрощения или ограничения относительно поведения величины, реконструируемой в модели, причем такое изменение задачи не должно приводить к искажению важных свойств реального объекта. Для оценки правильности постановки задачи, предотвращения бесполезного математического исследования тоже нужен реальный союз специалистов различных областей и математиков, способных понимать друг друга.

Эти необходимые нематематические знания нужно получить, а получить их можно только от других специалистов и в контакте с ними. Научная коммуникация, общение и взаимопонимание специалистов разного профиля приобрели принципиально важное значение. Встал вопрос об организации такого рода коммуникации, позволяющей добиться ее эффективности.

Во многих случаях наряду с математиками в исследовании участвуют специалисты не одной, а нескольких специальностей. Так, при изучении достаточно сложного экологического объекта в исследовании могут участвовать и экологи, и биологи разных специальностей, и экономисты, и т. д. Математик может в определенных случаях не понимать экономиста, эколога, биолога, технолога, администратора, а они, в свою очередь, могут не понимать того подхода к проблеме, который предлагает математик.

Эти трудности взаимопонимания проявляются реально, например, в характере видения, понимания теоретического объекта с точки зрения его структуры, связей и отношений между элементами. Оно, в свою очередь, обусловлено той парадигмой, тем стилем мышления, которые сложились в области знания, относящегося к объекту исследования, или же тем опытом, который приобретен в процессе длительной деятельности с объектом.

Может сложиться такая ситуация (и она, как правило, складывается, по крайней мере на начальной стадии развития исследования), когда специалист-нематематик не испытывает доверия к математическому моделированию, и потому, что стиль его научного мышления не ассимилировал основные особенности современного математического мышления, и по причине неэффективности прежних попыток применить математику к решению его проблем.

Трудности содружества специалистов усугубляются тем, что даже в том случае, когда математик действует вполне разумно по отношению к объекту, с пониманием его основных особенностей, то и тогда найти реальное содержание, которое заключено в математическом решении и которое касается объекта, как мы видели выше, не всегда просто. Требуется большая культура научного мышления, чтобы за трудностями не потерять рациональное зерно, прорастающее в этих исследованиях. В тех случаях, когда исследовательскому коллективу приходится осуществлять многообразные, часто разобщенные математические процедуры, можно легко «оторваться» от объекта и уйти в сферу математических символов.

Не случайно все чаще в современной математике вспоминают о герменевтике, когда обсуждаются вопросы компьютерного моделирования, ибо важнейшей научной задачей становится обеспечение понимания проблемной ситуации и предметной области исследования. Это важно как для построения адекватной модели, так и для интерпретации математических символов и полученных математических решений.

Эффективность современных математических исследований предполагает наличие взаимопонимания между специалистами различного профиля. Обеспечение такого понимания друг друга, взаимопонимания математиков и не-математиков представляет собой очень сложный процесс.

Влияют на него различные факторы. Это и узкая специализация, характерная для современной культуры, и теоретические и смысловые трудности совмещения различных языковых каркасов, и психологические личностные барьеры для принятия духовного мира другого, инерционность мышления человека. Не бесследно проходит и возникающее время от времени недоверие к математику. Всем памятен период увлечения разработкой АСУ и разочарование в них.

Если учесть, что математику приходится работать не только с учеными других специальностей: физиками, химиками, экологами, биологами, экономистами, языковедами, инженерами, но и с людьми практического склада — управленцами, руководителями, — то есть с представителями многих слоев общества, то на взаимоотношения с ним, на способность идти на контакт во многом влияет тот образ математики и математика, который существует в культуре и явно или неявно присутствует в сознании человека. Не последнюю роль играет в этом процессе и самосознание математика, оценка им уровня ценности в культуре и самой математики, и других видов человеческой деятельности. Казалось бы, узкая научная проблема — построение хорошей математической модели некоторого явления, — а контекст ее очень обширный и глубокий, выходящий далеко за рамки узкой проблемы в сферу культуры. Велико значение доверия, оказываемого одним специалистом специалисту другого профиля. Ведь «нельзя объять необъятное», а вместе с тем одним из основных качеств ученого является критицизм. Как донести свою идею, свою мысль до сознания коллеги, который мыслит в других категориях и придерживается, возможно, иных ценностей? Коммуникационный аспект в развитии науки в настоящее время осознается как принципиально важный для понимания истории науки и для организации науки.

Как отмечает М.А. Розов, современная математика породила в науке если не особую профессию, то особую роль, особую фигуру, фигуру математизатора. Математизатор — это современный математик, «человек, работающий на стыках наук, математик, ставший биологом, геологом или гуманитарием и в то же время сохранивший установки и принципы математического мышления. Он призван как бы сидеть на двух стульях, согласуя то, что, вообще говоря, трудно согласуется; нередко это роль конфликтная, требующая большой разносторонности и этической или аксиологической культуры»[31].

Другого рода трудности, которые имеют в своей основе взаимосвязь эмпирического и теоретического, могут возникать в случае, когда нужно строить мате-

[31] *Розов М.А.* Философские аспекты проблемы математизации науки // Математизация современной науки: предпосылки, проблемы, перспективы. М., 1986.

матическую модель такого объекта, который уже изучался в науке и о котором существует довольно много сведений эмпирического характера. Они были собраны в соответствии с прежним пониманием объекта, согласно которому именно такого рода факты считались существенными для его поведения. Если же выдвигается другое объяснение явлений, то в соответствии с ним существенным для описания объекта часто являются эмпирические факты другого рода. А их нет. В таких случаях их нужно собрать заново, т. е. организовывать сбор необходимой эмпирической информации, что по отношению к сложному объекту требует дополнительного специального исследования. Относительно же прошлого состояния объекта их уже вообще невозможно получить.

С такой ситуацией исследователи сложных систем сталкиваются часто. В литературе много примеров на этот счет. В целом ряде случаев эмпирические данные, собранные ранее, оказываются бесполезными при научном подходе к описанию объекта. (Известный математик Р. Фишер столкнулся с такой ситуацией, когда начал работу на агробиологической станции, которая к тому времени уже имела солидный стаж исследований; Б.В. Гнеденко рассказывал о подобной ситуации, которую он обнаружил, когда приступил к построению математической модели одного из больших советских портов; по свидетельству Н.Н. Моисеева, математическое моделирование в экономике тоже испытывало такого рода трудности и т. д.)

Если объектом исследования выступает сложная система, то получение эмпирической информации оказывается гораздо более сложным научным процессом, чем это было во времена классической физики. (Мы сейчас не рассматриваем особенности исследований тех объектов, по отношению к которым натуральный эксперимент вообще неосуществим.)

Что же изменилось в научном натурном экспериментировании? Можно говорить, что эксперимент берет свое начало одновременно с новой физикой, с исследований Г. Галилея. Каковы основные особенности экспериментирования в классической физике?

Во-первых, эксперимент можно и нужно многократно воспроизводить. Во-вторых, продолжительность эксперимента и обработки полученных результатов не играет принципиальной, существенной роли для исследования. В-третьих, реальный объект рассматривается как обладающий набором таких свойств, одни из которых в исследовании можно фиксировать, оставлять неизменными, а какое-либо свойство изучать как изменяющееся и не зависящее по существу от изменения тех, которые фиксированы. Фиксируя все свойства, кроме одного, можно его изменять и изучать зависимость поведения объекта от этого фактора. Такого рода эксперимент носит название однофакторного.

Эту познавательную ситуацию можно пояснить следующим образом. Исследователь предполагает, что структура объекта не влияет на те свойства объекта, которые изучаются в эксперименте, теория реконструирует эту познавательную ситуацию введением теоретического объекта, не имеющего структуры — физической точки. В процессе проведения эксперимента ученый должен обеспечить экспериментальную ситуацию, когда условия протекания реального изучаемого процесса были бы таковы, чтобы никакие вариации в структуре реального материального объекта не оказывали существенного влияния на его изучаемое свойство. Влияние не должно превышать величины ошибки измерения. Экспериментальная установка как раз и обеспечивает возможность эмпирического изучения того явления, которое интересует исследователя.

В ходе развития однофакторного эксперимента у экспериментаторов культивировался и утверждался способ мышления, который соответствовал основным принципам классического физического экспериментального исследования. Надо сказать, что в нем не последнюю роль играет такое понимание действительности, которое трактует обусловленность явлений как однозначно детерминированную. Эта установка научного мышления экспериментатора находится в полной гармонии с идеалом теоретического объяснения, характерным для физики классического периода.

Следующей особенностью экспериментирования классического периода является требование, предъявляемое к организации эксперимента, которое вытекает из однозначно детерминистской трактовки действительности: элиминировать случайные воздействия на объект. Влияние случайных факторов не должно превышать допустимой величины ошибки измерения. В эксперименте не должно быть никаких случайных явлений. Все его элементы жестко контролируются.

Кроме того, следует заметить, что эксперимент планировался интуитивно, опирался на знания исследователя об объекте, приборах и установках и на личный опыт. Не было никакого специального развитого научного знания о том, как проводить эксперимент, как его планировать. Да и потребности в этом знании до поры до времени не возникало.

Авторитет физики как науки был столь велик, что и в других областях естествознания, даже таких, как биология, где объект исследования, казалось бы, сильно отличается от физического, организовывать эксперимент стремились по тем же принципам, что и в классической физике. Эффективность такого рода эмпирических исследований была, естественно, сильно ограниченной.

В XX в., и особенно в последние десятилетия, происходят глубокие изменения в области научного экспериментирования. Это во многом связано прежде всего с экспансией эксперимента в новые области исследования и с расширением вероятностных представлений о действительности, столь характерных для исследования сложных объектов. Овладение ими на уровне экспериментального исследования оказывается процессом достаточно сложным и не в одинаковой мере осуществимым для различных областей науки. Оно приводит к изменению всей стратегии экспериментального исследования, его организации, целей, возможностей.

Что же принципиально нового содержит в себе современный эксперимент по сравнению с классическим? Прежде всего, он становится многофакторным. Ни одну из переменных оказывается невозможным стабилизировать и рассматривать ее изменение хотя бы в некотором отношении как несущественное. В организации и проведении эксперимента оказываются фундаментальными вероятностные представления (в отличие от классического, в котором вероятностные представления нужны были только для грамотной обработки экспериментальных данных). Для их изучения, как показывает математическая теория эксперимента, часто осуществляется специальная процедура генерации случайных воздействий на объект — это так называемый процесс рандомизации, который сам по себе требует научного подхода.

Экспериментатор на основе построенной математической модели, как правило, управляет объектом, получая те эмпирические данные, которые его интересуют. Расширяется сфера практической деятельности экспериментатора: от обеспечения внешних для объекта условий протекания явления с помощью установки (классическое экспериментирование) до управления самим ходом процесса, формирования нужного результата[32].

В тех случаях, когда исследователи сталкиваются с малоизвестными, очень сложными объектами, натурный эксперимент продолжает играть большую роль, несмотря на то, что, как правило, проводить его оказывается трудно, как с точки зрения особенностей самого объекта, так и с экономической (или социальной) точки зрения. Полученные эмпирические данные выступают в роли регулятивов математического исследования, которое развертывается с построением математической модели. Они позволяют осуществлять процедуру соотнесения модели с реальным объектом и тем самым корректировать в случае необходимости его описание. Достаточно важны они и на стадии представления объекта сложной системой, когда нужно выделить характеристические параметры системы, то множество факторов, которое влияет на поведение системы в данном отношении.

---

[32] См.: *Адлер Ю.П.* Введение в планирование эксперимента. М., 1969; *Налимов В.В.* Теория эксперимента. 1971.

Помимо тех трудностей, которые возникают внутри науки из-за наличия в ней как устоявшихся элементов (традиций, образцов, парадигм, норм), так и новых, становящихся, нарушающих некоторые традиции, исследования сложных систем встречаются с трудностями, которые возникают в процессе контакта результатов исследования с их потребителем. Эта трудность проявляется в том случае, если нет взаимопонимания между исследователем и тем, кому он служит помощником в практической деятельности. Данное явление обычно наблюдается, по крайней мере, на первых этапах их сотрудничества. Так, например, Дж. Форрестер, анализируя процесс математического моделирования социальных процессов, пишет. «В технике математические модели в большей мере соответствуют отражаемым реальным системам в отношении деталей структуры и действий, чем в классических экономических моделях. Барьер непонимания, отделяющий математические модели общественных наук от руководящего персонала промышленных предприятий и государственных учреждений, был почти непреодолимым. Это обстоятельство усугубляется тем, что модели социальных систем, в отличие от моделей физических систем, описываются в терминах, не принятых в данной области»[33] .

Другими словами, к тем трудностям, которые возникают на стадии понимания объекта вследствие различия стилей мышления исследователя и специалиста-практика, добавляются трудности в применении научных данных специалистом-практиком из-за неадекватности научного языка и терминологии, которая используется в практической деятельности с изучаемым объектом. На этой стадии вступают в силу факторы, связанные с социальной психологией, научным воспитанием, взаимопониманием различных социальных групп. Но острота этих проблем, связанных с онаучиванием практической деятельности, будет ослабляться, видимо, по мере совершенствования научных

[33] *Форрестер Дж.* Основы кибернетики предприятия. М., 1971. С. 44 – 45.

исследований и развития вычислительных систем, когда диалог специалиста-практика и вычислительной системы будет вестись на языке потребителя.

Мы видим, что эффективность научных исследований в области прикладной математики, как и во всех других науках, зависит от многих факторов, и предметных, и коммуникационных. Понять характер познавательной ситуации, исходя лишь из ее имманентных факторов, оказывается невозможным. На нее существенное влияние оказывают различные личностные и социальные факторы, которые через определенные исследовательские механизмы непосредственно транслируются в собственно научное знание.

* * *

В наше время, когда активно развиваются компьютерные информационные технологии, стратегическое значение в развитии прикладной математики имеют науки об искусственном. Основными направлениями современных наук об искусственном являются:

- робототехника и примыкающие к ней дисциплины, занимающиеся конструированием искусственных органов (эффекторов, рецепторов), а также синтезом искусственных движений и действий;
- виртуалистика, предметом которой выступает создание искусственных сред (виртуальных реальностей);
- семиотика — наука о знаковых системах и их приложениях в современных процессах и средствах коммуникации;
- нейроинформатика — наука об искусственных нейронных сетях;
- компьютерная лингвистика — наука о естественных и искусственных языках, применяемых для обеспечения работы ЭВМ;
- искусственный интеллект;
- искусственная жизнь;
- и др.

Центральное место среди этих областей науки занимают искусственный интеллект и искусственная жизнь — обобщающие научно-практические комплексы, которые, вобрав в себя наиболее ценные идеи и подходы современного естествознания, воплощают их в компьютерных системах, способных решать интеллектуальные задачи или действовать, используя принципы и механизмы организации живых существ. Можно предположить, что уже в первые десятилетия XXI в. науки об искусственном выйдут на авансцену мирового развития и сформируются основы единой теории открытых, активных, неоднородных, развивающихся искусственных систем. Весьма многообещающим направлением является область науки, называемая искусственной жизнью.

Проблема искусственной жизни (ALife)

Жизнь является одним из важнейших понятий философии и естествознания. Оно имеет два взаимосвязанных (но относительно самостоятельных) источника своего формирования. В качестве одного источника называют специфичность организации определенного класса природных объектов, который издавна выделен человеком в качестве именно живого мира в противоположность всему остальному как неживому, косному веществу (выражение В.И. Вернадского). Вторым источником является также идущая из глубины веков потребность человека в понимании смысла собственной жизни, смысла своего существования в мире. В этой связи возникло два различающихся, но взаимосвязанных значения понятия «жизнь».

Человек является витальным существом (витальный от лат. vitalis — жизненный, имеющий отношение к жизненным явлениям). Поэтому вопросы жизни, живого глубоко небезразличны ему. С развитием компьютерных технологий получила новый стимул проблема создания искусственной жизни. Жизни, которая бы соперничала с естественной жизнью. Не получится ли так, что человек потеряет свою уникальность, исключительность в универсуме и с точки зрения быть единственным разумным живым?

Искусственная жизнь (также известная как «ALife») — это обширная междисциплинарная область науки, изучающая жизнь и жизнеподобные процессы путем компьютерного моделирования и синтеза. При этом с жизнью и ее артефактами связывают адаптивное поведение и эволюционные возможности большого класса сложных систем.

Цели данного изучения включают:

- моделирование и создание живых и жизнеподобных систем;
- расширение практического применения систем.

Искусственная жизнь, с одной стороны, дает ответы на традиционные философские вопросы, а с другой — поднимает новые. Поскольку и искусственная жизнь, и философия исследуют первичную природу фундаментальных аспектов такой реальности, как жизнь, искусственная жизнь открывает перед философами новые подходы к ее изучению и связанных с этим проблем.

Понятие «искусственная жизнь» было введено Кристофером Лангтоном (Langton) в начале 90-х гг. прошлого века. Он рассматривал изучение жизни во всевозможных направлениях и организовал первую конференцию, которая подробно охарактеризовала это поле деятельности. С тех пор регулярно проводились конференции, посвященные достижениям в сфере искусственной жизни, и ряд научных журналов стал публиковать работы ученых, изучающих искусственную жизнь.

Искусственная жизнь имеет широкую интеллектуальную основу. Многие из ее основополагающих концепций совпадают с концепциями, взятыми из более старых наук: науки о компьютерах, кибернетики, биологии, теории сложных систем и искусственного интеллекта.

Джон фон Нейман предложил первую модель искусственной жизни (не называя ее так), создав самовоспроизводящуюся универсальную вычислительную сущность с использованием автомата ячеек. Фон Нейман пытался понять некоторые из фундаментальных свойств живых систем, такие как способность к самовоспроизведению и эволюции сложных адаптивных структур. Его подход сводился к конструированию простых формальных систем, которые были бы способны проявлять подобные свойства. Эта конструктивная и абстрактная методология олицетворяет современную искусственную жизнь, а автомат ячеек до сих пор широко используется в этой области.

Приблизительно в то же время кибернетики применили два новых средства к изучению живых систем: теорию информации и анализ саморегулирующихся процессов (гомеостаза). Одна из характеристик живых систем — это поддержание постоянства внутреннего состава — их способность сохранять равновесие внутри системы при постоянно изменяющихся условиях внешней среды. Эта способность до сих пор является объектом изучения в искусственной жизни. Теория информации рассматривает передачу сигналов независимо от их физического, материального представления. Абстрактность и независимость от характера материального носителя являются характеристиками искусственной жизни.

Вклад биологии в искусственную жизнь заключается в предоставлении знаний обо всех формах жизни, населяющих Землю. Цель искусственной жизни — познать все формы жизни, которые могли бы существовать в любом месте вселенной, а детальная информация о жизни на Земле – безусловно, хороший вклад в достижение этой цели. Биологи также обеспечили искусственную жизнь моделями, которые были изначально разработаны для изучения специфических биологических явлений. Например, случайные логические сети, которые были сначала изобретены Стюартом Кауфманом (Kauffman) как модели сети регуляции ионов, сейчас являются парадигмой в исследованиях искусственной жизни.

Физики и математики также вносят существенный вклад в развитие искусственной жизни. Один из примеров — исследование автомата ячеек как представителя сложных систем. Кроме того, методы искусственной жизни по изучению моделей систем, которые достаточно просты для всеобщей применимости и проведения качественного анализа, первоначально исследовались в статистической механике и динамике.

Например, модель Исинга (Ising) состоит из пространственной решетки направленных вверх и вниз спинов, связанных простыми локальными взаимодействиями, подвергающимися случайным термическим перепадам. Эта модель настолько абстрактна, что она практически не включает ни один из элементов детальной внутренней физической структуры таких материалов, как, например, чаша с водой или железный стержень. Тем не менее модель обеспечивает точную количественную характеристику того, как жидкая вода превращается в водяной пар или железный стержень теряет намагниченность в результате увеличения температуры.

Искусственная жизнь имеет глубокие корни также в науке об искусственном интеллекте (AI). Способность жить и развиваться в постоянно меняющемся и нестабильном окружении требует хотя бы зачаточной формы интеллекта. Таким образом, объекты исследования искусственной жизни и искусственного интеллекта перекрываются. Методология этих двух наук также похожа, поскольку и та и другая изучают естественные явления для создания вычислительных моделей. Вычислительная методология искусственной жизни особенно близка к коннектионистскому движению, которое недавно внедрилось в искусственный интеллект и теорию познания.

Методология компьютерной модели искусственной жизни имеет ряд достоинств. Наука представления модели в осуществимом компьютерном варианте нуждается в точности и прозрачности. Компьютерные модели обеспечивают нужную степень абстрактности, необходимую для максимально обобщенных моделей явления. Восходящая архитектура моделей искусственной жизни создает возможность придать модели реалистичную сложность, которой лишены аналитически изучаемые математические модели. Раскрыть суть и обеспечить понимание глобальных эффектов, которые возникают в сети одновременных нелинейных взаимодействий, оказывается возможным через процедуры построения восходящих моделей и затем через эмпирическое изучение их глобального поведения посредством компьютерного моделирования.

Модели искусственной жизни соответствуют примерам живых систем. Сами по себе модели — это параллельные системы с восходящей архитектурой, состоящие из простых членов, взаимодействующих локально. Модели многократно соединены в цепочки, что ведет к всеобщему согласованному поведению. Иногда низкоуровневые модели называют «агентскими» или «частными». В целом поведение системы представлено только косвенно. Этот факт является результатом взаимосвязей набора напрямую представленных частей («агентов», «единиц»). Опишем две модели искусственной жизни, иллюстрирующие данный пример.

Параллельный, распределенный характер моделей искусственной жизни включают, например, восходящие модели, в которых набор автономных агентов подчиняется простым локальным правилам. На самом деле агенты во многих моделях искусственной жизни сами контролируются внутренними взаимосвязанными сетями. Но существует, по меньшей мере, три важных различия между типичными моделями искусственной жизни и коннектионистскими моделями, привлекшие наибольшее внимание, такие как сети типа «связь вперед», которые изучаются алгоритмом обратного распространения ошибки обучения (нейронные сети).

Обучающие алгоритмы, задействованные в моделях искусственной жизни, обычно избегают этих крайностей. Они, как правило, неконтролируемые и находятся в постоянном функционировании (можно всегда управлять). Часто этим алгоритмом является просто естественный отбор.

Во-вторых, хотя в функционировании систем искусственной жизни имеют место вмешательство и интерпретация человеком (человеческий фактор), однако в моделях искусственной жизни ввод информации (т. е. ее получение агентом на микроуровне) происходит напрямую из окружающей среды, в которой находится агент. Во многих случаях эта среда сама по себе часть компьютерной модели. Конечно, именно проектировщик создает модель, но особый способ влияния модели на поведение агентов — результат непредсказуемого набора низкоуровневых взаимодействий внутри самой модели. В модели искусственной жизни результатом действия агентов на микроуровне является порождение какого-либо действия в окружающей среде, а эти действия напрямую влияют на благополучное существование всех агентов. Таким образом, их реакция обладает внутренним смыслом, независимо от разработчика.

В-третьих, в исследованиях искусственной жизни, как правило, занимаются поисками различных видов динамического поведения. Исследования искусственной жизни направлены в большой степени на характерное поведение живой системы как процесс непрерывной созидающей эволюции, поэтому целью многих моделей искусственной жизни является незамкнутая эволюционная динамика, которая совершенно далека от состояния равновесия.

Живой мир часто представляется как стабильная иерархия уровней. Эти уровни включают (помимо других вещей) химические вещества, органеллы, клетки, органы, организмы и экосистемы. Модели искусственной жизни обычно детально представляют один уровень с целью создать характерные явления более высокого уровня. Одной из существенных целей искусственной жизни является поиск единой модели, которая воссоздавала бы поведение всех этих уровней на основе подробной спецификации только низшего уровня. Таким образом, в данной сфере существует трудность в создании такой модели, которая воссоздавала бы два уровня явления.

Наиболее простое явление, исследованное учеными для создания модели искусственной жизни — это самоорганизация. Такие модели изучают появление структуры из бесструктурных ансамблей начальных условий, таких как модели химических смесей, в которых могут возникать фундаментальные структуры, например автокаталитические сети. Цель большинства моделей — организменный уровень, иногда со значительными взаимодействиями между организмами. Эти модели, как правило, допускают изменения внутри организмов как часть динамики системы (например, посредством генетического алгоритма). Наиболее распространенной целью исследований с использованием этих моделей является идентификация и объяснение структуры, возникающей в последующем эволюционном процессе. Некоторые модели действуют на уровне между химическим и организменным, и их целью является достижение понимания в развитии путем создания различных взаимодействий внутри модели. Другие модели интерорганизменные, в том смысле, что они нацелены на создание моделей, имитирующих взаимодействие между разными видами организмов или агентов. Эти модели часто содержат элементы теории игр.

Многие модели искусственной жизни созданы не для представления известных биологических систем, а для рождения совершенно новых и поразительно простых случаев правдоподобных явлений жизни. Простейший пример такой системы — так называемая «Игра жизни», разработанная математиком Джоном Конвеем (Conway) в 60-х гг. прошлого века. Можно считать «Игру жизни» Конвея моделью на физическом и химическом уровне, объединяющей предельно простую и уникальную форму химических взаимодействий. Тем не менее самоорганизация, представленная в данной модели — это не демонстрация химической самоорганизации в реальном мире, а совершенно новый экземпляр этого явления. Игра жизни — это двухфазный двухмерный клеточный автомат с примитивными законами ближайшего окружения. Перемещение во времени в дискретных шагах и состояние клетки в заданный момент времени определяется состояниями восьми окружающих клеток в соответствии с простым правилом «рождения и смерти»: «мертвые» клетки становятся «живыми» тогда и только тогда, когда ровно три соседа являются «живыми», и «живые» клетки «умирают» тогда и только тогда, когда меньше двух или больше трех соседей являются «живыми». Путем проверки правила «рождением — смерть» нельзя выявить ничего значимого в путях поведения всей системы. Но когда происходит стимуляция системы, появляется большое количество различных сложных динамических изменений и можно распознать и классифицировать сложный набор структур. Можно даже создать путем подходящего расположения начальной конфигурации живых ячеек универсальную машину Тьюринга в пределах модели «Игра жизни». В таких конструкциях каретки проявляют функцию передачи сигналов. Анализ вычислительного потенциала клеточного автомата на базе взаимодействия кареток стал основным объектом исследования.

Другим примером модели искусственной жизни уже на организменном уровне является Тьерра (Ray 1992). Эта система искусственной жизни состоит из организмов, которые на самом деле простые, самовоспроизводимые компьютерные программы, существующие в среде, состоящей из памяти компьютера и всепоглощающего времени центрального процессора как источника энергии. Генотип Тьерры состоит из последовательности машинного кода, и каждая особь Тьерры есть подобие генотипа Тьерры. Моделирование начинается, когда память компьютера модифицируется с единственной самореплицирующейся программы, предка, который затем оставляется для дальнейшего самовоспроизведения. Предок и его потомки повторно воспроизводятся до тех пор, пока доступный объем памяти не заполнится особями, обладающими генотипом предка. Для создания места в памяти для новых потомков более ранние особи постоянно удаляются из системы. При воспроизведении особи иногда происходят мутации, следовательно, в популяции Тьерры идет естественный отбор. Если мутация позволяет особи быстрее размножаться, этот генотип имеет шансы доминировать в популяции. Со временем экология генотипов Тьерры становится очень разнообразной. Быстро размножающиеся паразиты, которые используют генотип хозяев, эволюционируют, что делает возможным эволюцию других видов, устойчивых к паразитам. После миллионов циклов центрального процессора Тьерра, как правило, содержит множество видов особей, обладающих разнообразными конкурирующими и сосуществующими экологическими взаимоотношениями.

Компьютерное моделирование является основным способом изучения сложных адаптивных систем. Оно играет ту же роль, что и наблюдение и эксперимент в более традиционных науках. Сложное самоорганизующееся поведение «Игры жизни» никогда бы не было обнаружено без моделирования тысяч поколений для миллионов вычислительных систем. Подобным образом было бы невозможно обнаружить появление сложных экологических взаимоотношений в модели Тьерра без моделирования многих миллионов поколений. Моделирование крупномасштабных сложных систем — единственное наиболее существенное достижение, которое дало возможность искусственной жизни расцвести и обособиться от других предшественников, таких как кибернетика.

В отличие от простого создания компьютерных моделей, некоторые исследования искусственной жизни ставят целью внедрять свои системы в реальную жизнь. Продуктами этой деятельности являются физические устройства, такие как роботы, которые проявляют признаки жизнеподобного поведения. Некоторые из этих внедрений вызваны интересом к инженерным практическим устройствам, которые обладают некоторыми полезными свойствами живых систем, такими как выносливость, гибкость и автономия. Но часть из этих исследований — в основном теоретические, мотивированные верой в то, что лучший способ попытаться ответить на сложный вопрос о возникновении жизни в физическом мире — это изучение реальных физических систем. Здесь просматривается аналогия с биологическими уровнями.

«Химический» уровень представлен работой на эволюционирующей аппаратуре, часто с использованием программных логических массивов, которые пытаются использовать адаптивные процессы, заимствованные из наблюдений за живыми системами, для построения конфигурации микроэлектронной схемы.

«Организменный» уровень представлен новыми направлениями биологической роботехники, такими как использование эволюционных алгоритмов для автоматизации разработки роботизированных контроллеров. Рост числа роботов, связанных локально для достижения некоторых коллективных целей, является примером «популяционного» уровня. «Экологический» уровень может быть представлен интернетом наряду с его взаимодействиями со всеми пользователями, распределенными по всему миру за своими компьютерами.

Исследования в области искусственной жизни позволяют уточнить целый ряд вопросов, связанных с пониманием жизни. Прежде всего, с такими ее чертами, как: явление эмерджентности, явление адаптации, процесс эволюции. Начало развития искусственной жизни по-своему реанимировало исследования природы жизни. Отчасти это произошло потому, что более явным становится определение жизни. Ведь моделировать или создавать живые системы можно только при наличии четкого определения, что такое жизнь. Целью самосознания искусственной жизни является определение главной сущности жизни. Это может стимулировать эксперименты с новыми жизнеподобными организмами и процессами.

Таким образом, исследования в области искусственной жизни открывают не только широкие перспективы для изучения биологической жизни, но и обладают потенциалом создавать новые формы жизни. В результате наука сможет обеспечить лучшее объяснение широкого диапазона естественных явлений, которые характеризуют живые системы. Это поможет распутать клубок загадок, касающихся жизни. Среди них такие:

- применимо ли понятие жизни ко всем уровням биологической иерархии,
- существенно ли связана жизнь с психическими возможностями,
- какова взаимосвязь между материальным строением и динамическими процессами жизни.

Рассмотрим идеи «сильной» и «слабой» искусственной жизни.

Исследования по искусственной жизни прежде всего поднимают вопрос о том, могут ли искусственные конструкции когда-либо буквально быть живыми. Договоренность о природе жизни могла бы облегчить ответ на этот вопрос. Например, если определяющим свойством живых систем является процесс поддержки сложной внутренней организации через метаболизм, то вопрос мог бы звучать следующим образом: может ли искусственно созданная система буквально проявлять это свойство. Все споры по созданию реальной, но искусственной жизни в настоящее время упираются в отсутствие согласия относительно того, что есть жизнь.

Важно отметить еще два вопроса о создании искусственной жизни. Во-первых, возможно ли создать физическое устройство типа робота, которое буквально будет являться живым. Если абстрагироваться от трудностей в определении понятия жизни, то проблема заключается в нашей способности синтезировать соответствующие материалы и процессы. Философски спорный вопрос здесь — могут ли процессы или объекты в компьютере, осуществляющем модель искусственной жизни, когда-либо действительно быть живыми. Это вопрос о том, возможна ли так называемая «сильная» искусственная жизнь. «Сильная» искусственная жизнь противопоставлена «слабой» искусственной жизни — бесспорному тезису о том, что компьютерные модели являются полезными для того, чтобы понять живые системы.

Вопрос о сильной искусственной жизни иногда формулируется в терминах компьютерного моделирования: может ли компьютерное моделирование живых систем когда-либо действительно быть живым? Такая формулировка сразу же вызывает ответ: было бы элементарной ошибкой языка путать «моделирование» чего-либо с «реализацией» этого.

Моделирование полета самолета, независимо от того, насколько оно детализировано и реалистично, в действительности, конечно, не является полетом. Моделирование урагана не создает реальный дождь, управляемый реальными штормовыми ветрами. Точно так же компьютерное моделирование живых систем производит просто символическое представление живой системы. Внутренний онтологический статус этого символического представления — не больше, чем определенные электронные состояния в компьютере (например, состояния высоких и низких напряжений), и эта совокупность электронных состояний не более жива, чем ряд предложений, описывающих организм. Символическое представление кажется живым только тогда, когда ему дают соответствующую интерпретацию. Эта интерпретация могла бы быть создана, если бы описание динамически отражало то, как живая система изменяется во времени, и если бы моделирование производило яркую зрительную форму как живую, но пока все это только интерпретация.

Важно понимать, что искусственная модель жизни, которая фактически осуществляется на компьютере, реально состоит из физического процесса, происходящего в реальной физической среде, потребляющей реальные физические ресурсы. Программное обеспечение, определяющее модель, могло бы быть статической абстрактной сущностью с онтологической природой платоновских универсалий, но фактическое моделирование имеет онтологический статус любого физического процесса. Кроме того, как было подчеркнуто ранее, модели искусственной жизни часто представляются не как моделирование или модели некоторой живой системы реального мира, но как новые примеры живых систем. «Игра жизни» Конвея, например, — это не только моделирование и модель любой реальной биохимической системы. Скорее, это простая реальная система, которая показывает непосредственную макроскопическую самоорганизацию. Точно так же «Тьерра» Рея не является только моделированием или моделью экологии и эволюции некоторой реальной биологической системы. Вместо этого она является реальным случаем экологической и эволюционной динамики в цифровой области. Таким образом, несмотря на то, что «Игра жизни» и «Тьерра» фактически осуществляются на компьютерах, они — новые реальные физические случаи самоорганизации и эволюции.

Такие процессы, как самоорганизация и эволюция, могут быть по-разному реализуемы и воплощены в широком разнообразии различных сред, включая физические среды соответственно запрограммированных компьютеров. Таким образом, в той степени, в какой основные свойства живых систем включают в себя такие процессы, как самоорганизация и эволюция, в такой же степени запрограммированные компьютеры фактически будут новой реализацией жизни. Модели, которые просто представляют некоторое явление, отличаются от моделей, которые фактически воспроизводят его. Например, двумерная модель ветвящегося процесса со случайным удалением может рассматриваться как описание развития более или менее сложных насекомых, если одно измерение взято, чтобы представить время, а другое — сложность. Но точно так же этот ветвящийся процесс может рассматриваться как описание развития более или менее высоких людей. Он может даже рассматриваться как описание различных невременных и небиологических процессов, таких как характер притоков рек в географии. Сама по себе модель внутренне не включает ничего из перечисленного. В отличие от этого, каретка в «Игре жизни» Конвея — не электронное свойство, которое легко можно истолковать как само-поддерживающийся динамический коллектив. Это действительно электронный самоподдерживающийся коллектив, независимо от того, определяют его так или нет. Аналогично, самореплицирующиеся программы машинного языка в «Тьерра» Рея действительно развиваются естественным отбором и действительно участвуют в отношениях хозяин/паразит. Ключевая проблема искусственной жизни состоит в возможности моделирования незамкнутой эволюции адаптивной сложности, и она должна быть оценена именно в этом свете. Легко создать модель, которая может интерпретироваться как демонстрация этого явления, но сложнее создать модель, которая действительно генерирует данное явление.

Существенным источником поддержки идеи сильной искусственной жизни является вера в то, что жизнь больше касается формы, нежели материи. Хотя определенные макромолекулы на основе углерода играют критическую роль в жизненных процессах всех известных живых объектов, метаболизм создает непрерывный поток молекул через живые системы. Таким образом, жизнь представляется больше как своего рода процесс, чем как специфическая материальная сущность. Это подразумевает то, что жизнь могла бы быть хорошо понята только через разнообразие сред, возможно включая соответственно запрограммированные компьютерные аппаратные средства. Такая мотивация для сильной искусственной жизни вызывает функционалистское представление о жизни, аналогичное современному функционализму относительно разума. И так как многие модели искусственной жизни располагают искусственными организмами в искусственной окружающей среде, то исследования в области искусственной жизни хорошо поддерживают функционалистский подход.

Модели искусственной жизни генерируют поведение, во многом характерное для живых систем. Таким образом, практика искусственной жизни будет непрерывно поднимать вопрос, может ли компьютерная модель жизни рассматриваться как буквально живая. Непрерывно бросая вызов границам между жизнью и не-жизнью, искусственная жизнь дает толчок новым перспективам по решению данной проблемы.

Проблема искусственного интеллекта (AI)

Рассмотрим следующие вопросы:

- Может ли машина мыслить.
- Идея искусственного интеллекта.
- Эволюция проблемы искусственного интеллекта.
- Является ли разум вычислителем.

Создание в середине XX в. электронно-вычислительных машин можно сравнить по своему значению с любым из самых выдающихся достижений в истории человечества. Счетные устройства наподобие абака или счетов, механического арифмометра в XIX в. и некоторые экспериментальные устройства (микроскоп, телескоп и т. п.), облегчающие сбор эмпирической научной информации, все же в отличие от ЭВМ существенно не влияют на темпы интеллектуальных процессов и их возможности. С ЭВМ появилось много новых эффективных методов познания реального мира.

Компьютерная эра потребовала новых способов анализа таких образований человеческой мысли и языка, как тексты, документы и т. д. Предвосхищением потребности современной компьютерной науки стала философская герменевтика, главным предметом которой является проблема понимания текстов. Теперь этим вопросом занимаются и специалисты в области компьютерных наук. Известный философ-структуралист К. Леви-Стросс продвинул вперед формализацию и математизацию лингвистики, подготовленную работами других лингвистов и философов XX в., а также много сделал для применения теоретико-информационных подходов к языку, к стихосложению. Эти разработки резонировали с возникновением современных «думающих машин», которые немыслимы без приемов структурирования (разделения на взаимосвязанные элементы, составляющие единые структуры) языковых высказываний, текстов.

Как известно, первые попытки создать счетные устройства для выполнения арифметических действий предпринимались исходя из двух соображений: доказать осуществимость такой идей и облегчить труд человека при массовых вычислительных работах. В течение почти трехсот лет сделанные изобретения и создаваемые конструкции счетных машин не находили практического применения и не могли по простоте обращения и надежности конкурировать с такими нехитрыми приспособ- лениями, как, например, русские счеты. Поэтому они оставались лишь в чертежах и многие из них затерялись. Наконец, американец У. Берроуз открыл первую компанию по производству арифмометров (1885 г.). Затем были изобретены перфокарты, использующиеся для ввода и вывода информации. Все это служило стимулом для создания ЭВМ. Но необходимо было еще найти общие приемы и методы решения вычислительных задач. В связи с этим перед математиками встала одна из важнейших новых теоретических и практических проблем — разработка теории алгоритмов.

Исходым интуитивным определением понятия алгоритма послужило следующее: алгоритм — строгая и четкая конечная система правил, которая определяет последовательность действий над некоторыми объектами и через конечное число шагов приводит к поставленной цели. Улучшенной формулировкой предыдущего определения алгоритма является дополнение его следующими свойствами алгоритма: 1) полнота описания; 2) выполнимость; 3) однозначность; 4) конечность.

Для уточнения понятия алгоритма формально задаются объекты, с которыми происходит работа: символ — любая литера (буква, лат.), алфавит — конечное множество символов, слово — конечная последовательность символов. По своей сути алгоритм преобразует некоторое исходное слово на входе в слово на выходе.

В 1936 г. известный математик А. Тьюринг дал определение алгоритма через некоторое устройство: «машину Тьюринга». Одно из основных положений теории алгоритмов звучит следующим образом: «Любой алгоритм может быть представлен в виде соответствующей машины Тьюринга». Тьюринг Алан [Turing (1912–1954)] ввел в 1936–1937 гг. концепцию абстрактной вычислительной машины — так называемая машина Тьюринга. Его работы во многом способствовали созданию современной ЭВМ.

Определение понятия алгоритма означало, что алгоритмически разрешимая задача (задача, для которой существовал алгоритм решения) могла быть решена автоматически. И, кроме того, машина Тьюринга представлена как машина, а это означало, что процесс решения этой задачи мог быть передан на реализацию вычислительной машине.

На протяжении последних десятилетий компьютерные технологии развивались очень быстро. Нет сомнений в том, что и будущее сулит новые грандиозные успехи в повышении быстродействия и объема памяти, а также новые конструктивные решения компьютерной логики. Уже сейчас машины способны решать различные задачи, ранее являвшиеся исключительной прерогативой человеческого интеллекта. И при этом способны решать их со скоростью и точностью, во много раз превосходящими человеческие способности.

Мы давно свыклись с существованием устройств, превосходящих наши возможности. И это не вызывает у нас внутреннего дискомфорта. Они не задевают нашего тщеславия. Но вот способность мыслить, казалось, всегда была прерогативой человека. В конце концов, видимо, именно этой способности мы обязаны тем, что человеку удалось преодолеть его физические ограничения и встать в развитии над другими живыми существами. А если когда-нибудь машины превзойдут нас там, где, по нашему мнению, нам нет равных — не получится ли так, что мы отдадим пальму первенства своим же собственным творениям?

Можно ли считать, что механическое устройство в принципе способно мыслить, или даже испытывать определенные чувства? Этот вопрос не нов, но с появлением современных компьютерных технологий он приобрел особое звучание. Смысл вопроса глубоко философский. Что значит — думать или чувствовать? Что есть разум? Является ли мышление исключительно делом человеческого мозга, или же эта деятельность может быть осуществлена аппаратными системами? Надо заметить, что на протяжении развития всей западной философии и культуры долгое время не существовало никаких сомнений в исключительной принадлежности способности мыслить именно и только человеку.

В 1950—1960-е гг. идеи создания умных машин уже имели огромный общественный резонанс. Может ли машина мыслить, или же мышление — это удел только человека? На эту тему разворачивались дискуссии не только среди философов, но и психологов, биологов, математиков, кибернетиков и представителей других наук. Эти вопросы горячо обсуждались в средствах массовой информации, научно-популярных изданиях, газетах и журналах. Ярким примером такой дискуссии может служить интервью, данное Норбертом Винером журналу «Юнайтед Стэйтс Ньюс энд Уорлд Рипорт» (U.S. News & World Report) в феврале 1964 г.[34]:

«Вопрос: Говорят, вычислительные машины думают. Так ли это?

Ответ: Если иметь в виду нынешнее положение вещей, то вычислительные машины могут обучаться.

---

[34] См.: *Винер Н.* Машины изобретательнее людей? // Винер Н. Кибернетика. М., 1983. Приложение IV.

Вычислительные машины могут учиться улучшать свою работу путем ее анализа. Это безусловно верно. Называть ли это мышлением — вопрос терминологический. Что вещи такого рода получат гораздо большее развитие в будущем, когда наша способность строить более сложные вычислительные машины возрастет, в этом, я думаю, не приходится сомневаться.

Вопрос: Существует ли вероятность, что машины могут учиться больше, чем человек? Способны ли они к этому сейчас?

Ответ: Сейчас — наверняка нет, и наверняка нет еще долгое время, если вообще когда-либо будут способны. Но если смогут, то лишь потому, что мы перестанем учиться. Я хочу сказать, что нам учиться легче, чем машине. Если же мы поклоняемся машине и все ей оставляем, то мы должны благодарить самих себя за все неприятности, в которые попадаем. В этом суть дела. Вычислительная машина очень хороша при быстрой работе, проводимой однозначным образом над полностью представленными данными. Вычислительная машина не может сравниться с человеческим существом при обработке еще невыкристаллизовавшихся данных. Если назвать это интуицией, то я не сказал бы, что интуиция недоступна вычислительной машине, но у нее она меньше, а экономически невыгодно заставлять машину делать то, что человек делает намного лучше».

Эйфория вокруг вычислительных машин охватила в то время интеллигенцию.

В своей работе «Может ли машина мыслить?» Тьюринг отказывается дать ответ на вопрос, что такое мышление в обычной, кажущейся ему неясной терминологии. В качестве ответа на вопрос Тьюринг предлагает своеобразную «игру в имитацию»[35].

В этой игре участвуют три человека: мужчина (A), женщина (B) и лицо любого пола (C), изолированные в отдельной комнате от других участников игры. Цель игры для C состоит в том, чтобы определить, кто из двух других участников игры является мужчиной (A), а кто —

[35] *Тьюринг А.* Может ли машина мыслить? М., 1960.

женщиной (B). (C) знает их под обозначениями X и Y и в конце игры должен сказать: либо «X есть A и Y есть B», либо «X есть B и Y есть A».

Для того чтобы решить свою задачу, C может задавать своим партнерам вопросы, например, такого рода: «Прошу X сообщить мне длину его (или ее) волос». Задача одного из партнеров (мужчины A) состоит в том, чтобы ввести спрашивающего в заблуждение и выдать себя за лицо противоположного пола. Так, при получении указанного вопроса X (а в действительности он мужчина A) может ответить, например, следующим образом: «Мои волосы коротко острижены, а самые длинные пряди имеют длину около девяти дюймов».

Модель игры третьего участника (женщины B) состоит в том, чтобы помочь задающему вопросы. Лучшей стратегией для нее, вероятно, были бы правильные ответы. Она может также делать прямые заявления о том, кто она такая. Заявления эти могут быть, например, в такой форме: «Женщина — я, не слушайте его!». Однако сообщения такого рода при всей их правдивости могут ничего не значить для спрашивающего, могут не приносить ему никакой пользы. C знает, что и мужчина может делать заявления такого же рода, чтобы сбить его с толку.

Такого рода «игра в имитацию», разумеется, должна быть организована так, чтобы ничто не выдавало участников. Вопросы и ответы, например, можно пересылать по телеграфу или, на худой конец, напечатать на пишущей машинке.

Описав все условия и правила игры, Тьюринг ставит свой основной вопрос: что произойдет, если вместо A будет участвовать машина. Будет ли в этом случае задающий вопросы ошибаться так же часто, как и в игре, где участниками являются только люди? Именно эта способность ввести в заблуждение человека, задающего вопросы в игре в имитацию, рассматривается Тьюрингом как мышление. И если машина справится с этой задачей, если она по своим способностям не уступит человеку, достаточно успешно выполняющему функции A, то на вопрос: «Может ли машина мыслить?» — следует ответить положительно.

Речь идет о тесте Тьюринга для ответа на вопрос, думает ли машина. Он может звучать так: если вычислительная машина полностью воспроизводит внешние проявления сознательного разума в некоторой ситуации, то содержит и внутренние его проявления (умение думать).

Нетрудно увидеть, что описанный принципиальный подход при всей своей четкости является чисто поведенческим и полностью игнорирует внутренние закономерности психической деятельности вообще и мышления в частности. Согласно же психологам, одинаковое внешнее поведение еще не означает тождественности структуры внутренних процессов, обусловливающих это поведение.

Точка зрения Тьюринга была подвергнута критике со стороны таких крупных исследователей в области теории автоматов, как Дж. Маккарти и К. Шеннон. В своем предисловии к сборнику «Автоматы» в начале 50-х гг. они писали:

«Недостатком тьюринговского определения мышления является то, что в принципе можно сконструировать машину с полным набором ответов на всевозможные входные стимулы... Такая машина в некотором смысле для любой данной входной ситуации (включая историю прошлого) просто находит в "словаре" подходящий ответ. При надлежащем словаре такая машина наверняка будет удовлетворять определению Тьюринга, но она не будет соответствовать нашему обычному интуитивному представлению о мышлении. Это наводит на мысль, что более фундаментальное определение должно содержать нечто относящееся к тому, каким образом приходит машина к своим ответам — нечто, соответствующее различию между лицом, решившим задачу путем размышления, и лицом, которое заранее заучило ответ наизусть»[36].

Вся совокупность проведенных к тому времени научных исследовании показывала, что внутренним содержанием и основой психической деятельности является информационное моделирование действи-

---

[36] Цит. по: *Поспелов Д.А., Пушкин В.Н.* Мышление и автоматы. М., 1972.

тельности, тех предметов, которые окружают человека, их свойств, их динамики, их отношений. Поэтому автоматы, которые призваны не только заменить человека по его чисто внешним рабочим характеристикам, но которые претендуют также на воспроизведение его внутренних психологических процессов, должны обладать такой внутренней структурой, которая, прежде всего, позволяет строить модели объектов и производить на этих объектах необходимые операции. В конечных же автоматах об информационном аналоге или заместителе предметов внешнего мира нет и речи. Все решается однозначной связью стимула и реакции.

Встала во весь рост одна из основных проблем, возникших в сфере компьютеризации. Это — создание искусственного разума, а не просто машин для расчетов и переработки информации. Стало понятным, что машина все же не работает как живой мыслящий разум. В лучшем случае компьютер может воспроизвести отдельные операции, вырванные из контекста. Контекстом же живого мышления являются социальная среда, культурная коммуникация, общение людей. Эти моменты в машине невоспроизводимы. Другой момент: основные поиски смещались в разработку таких устройств, принципов и программ, которые бы позволяли работать с визуальными образами и знаниями. И первое, и второе предполагает не просто кодирование и декодирование информации и алгоритмизацию процессов, но и разработку принципов машинного понимания, чтения, осмысления. Сложность решения этой проблемы трудно переоценить.

Встает вопрос: каково же соотношение человеческого и машинного интеллекта? Мышление, разум, интеллект, творчество, рефлексия, высшие уровни психической активности есть важнейшее проявление человеческой деятельности, биологически и социально детерминированной. Логические, решательные способности компьютеров, как бы велики они ни были, есть результат научно-технического развития, специализированной инженерной деятельности людей. Эти различия по источнику, по происхождению имеют глубокий философский смысл.

Человеческое мышление своими глубокими корнями уходит в живую ткань сознания, и машинная модель мышления представляется узким срезом, слабым отсветом внутреннего мира человека. Человеческое мышление, интеллект реализуются в целесообразной, осмысленной и очувствленной деятельности (пронизанной чувствами), они слиты с деятельностью и несут на себе широкий спектр ее субъективных моментов.

Машинное мышление как бы оторвано, отъединено от субъективной, человеческой деятельности. Целевые компоненты здесь преломлены в постановке решаемых на компьютерах задач, а функция мышления в общем случае сводится к логическому преобразованию знаков, знаковых структур и отношений между ними, представленных на специализированных языках в машинных программах и реализуемых электронными устройствами машины. В самом этом преобразовании нет мотивационных, целевых, смысловых и других субъективно-личностных компонентов. Они как бы вынесены вовне, и машинная логика представляется, таким образом, особой пристройкой к человеческому мышлению. Можно сказать, что эта новая компьютерная форма мышления оказывается именно очищенной от живых, природных и социальных, деятельностных источников.

Кибернетика в момент своего рождения — в конце 40 — начале 50-х гг. XX в. привлекла всеобщее внимание главным образом потому, что указала на подобие процессов управления и связи в машинах, живых организмах и обществе и на то, что эти процессы имеют информационный характер, т. е. представляют собой, по существу, процессы сбора, передачи, хранения и обработки информации. Это придало новые стимулы изучению человека, его мышления, процессов принятия решений, распознавания, т. е. всего того, что, как утверждает кибернетика, происходит на основе информационных процессов. Кибернетики, обращаясь к наукам, традиционно занимавшимся изучением человека, — главным образом к биологии и психологии, — рассчитывали получить у них ответы, касающиеся специфически человеческих способов реализации информационных процессов, и намеревались использовать полученные сведения при создании соответствующих технических устройств. Таковы истоки проблемы «вычислительные машины и мышление», которая в чистом виде выглядит следующим образом: создать на основе вычислительных машин системы, способные выполнять отдельные функции, традиционно считавшиеся интеллектуальной прерогативой человека, т. е. создать своеобразные «усилители интеллектуальных способностей», искусственный интеллект.

В центре дискуссий оказался вопрос о соотношении возможностей информационной машины и человека, обладающего психикой, сознанием и самосознанием. Эта проблема, в сущности, неотделима от вопроса о познании человеком самого себя, вопроса, на протяжении веков служившего импульсом для развития науки и культуры. Впервые в истории цивилизации человек столкнулся с реальной возможностью создавать орудия труда — машины, способные демонстрировать «разумное поведение», и поручать им, следовательно, задачи, решение которых требует использования различных видов мыслительной деятельности. Именно поэтому о вычислительной машине заговорили как о феномене, впервые бросившем вызов первенству человеческого мозга, как о третьем (после открытий Галилея и Дарвина) ударе по антропоцентристским воззрениям человека.

Стали активно использовать выражение «искусственный интеллект». Сначала оно имело смысл «думающей машины». Оно соотносится с понятием естественного интеллекта и в определенном смысле противопоставляется ему. Термин «искусственный интеллект» был введен Дж. Маккарти в 1956 г. Забегая вперед, отметим, что смысл его изменялся по мере развития исследований, и ни одно из определений, претендующих на точность, не является окончательным. Со временем наиболее осмысленным использованием выражения «искусственный интеллект» стало обозначение области научных исследований.

Было много противников фетишизации вычислительной машины и, в частности, искусственного интеллекта, понимаемого как думающая машина, но первым критиком этой идеи из числа специалистов стал Вейценбаум, видный специалист в области информатики.

Скептическое отношение Вейценбаума к возможности проведения параллели между мышлением человека и ЭВМ было частично вызвано реакцией на составленную им в середине 60-х гг. прошлого века программу искусственного интеллекта «Элиза» (основу которой составляли процедуры лингвистического анализа), позволявшую имитировать психотерапевта, проводящего первичное обследование пациента. Вейценбаум был поражен и встревожен тем, что одни специалисты (психиатры) поверили, что подобная программа могла бы стать основой полностью автоматизированной психотерапии, а другие (информатики) считали, что программа демонстрирует общее решение задачи понимания вычислительной машиной естественного языка. Вейценбаум обратил внимание на то, что даже высокообразованные люди склонны преувеличивать возможности техники, природу которой они не знают или не понимают.

Вейценбаум считал необходимым получить ответы на следующие три вопроса.

1. Какие особенности или свойства вычислительной машины способствуют возникновению представлений о человеке как некоторого рода машине?

2. Почему некоторые люди столь охотно склонны передоверять свою ответственность за принятие решений различным машинным, в том числе вычислительным системам?

3. Что и каким именно образом в действительности делают вычислительные машины?

Первый шаг на пути получения ответов на эти вопросы — проведение черты, разделяющей «человеческое» и «вычислительномашинное».

Вейценбаум пишет, что он пережил потрясение, которое связано с рядом лиц, настаивавших на неправильной интерпретации одной из частей его работы. Работа выполнялась в 1964—1966 гг., и сообщения о ней были опубликованы в январе 1966 г. и августе

1967 г. Говоря кратко, Вейценбаум написал программу для вычислительной машины, с которой можно «беседовать» на английском языке. Собеседник-человек печатает свою часть разговора на пишущей машинке, соединенной с вычислительной машиной, а машина, управляемая программой, анализирует сообщение, переданное ей таким образом, составляет ответ на английском языке и обеспечивает печать ответа с помощью печатающего устройства.

Вейценбаум[37] выбрал для программы лингвистического анализа имя «Элиза». Поскольку разговаривать можно лишь «о чем-то», т. е. разговор должен иметь некоторый контекст, программе было придана двухуровневая организация: первый уровень включает лингвистический анализатор, второй — сценарий. Сценарий представляет собой набор правил, примерно таких же, какие можно давать актеру для использования при импровизации на заданную тему. Таким образом, «Элизе» можно задать сценарий, позволяющий ей поддерживать разговор о варке яиц или ведении счета в банке и т. п. Каждый сценарий позволял «Элизе» играть в процессе разговора определенную роль.

В виде первого эксперимента он задал «Элизе» сценарий, позволяющий ей играть роль психотерапевта-роджерианца, проводящего первичное обследование пациента. Имитировать его сравнительно легко, так как его метод в основном состоит в вовлечении пациента в беседу повторением ему его же высказываний.

Вот беседа молодой особы с «Элизой» в роли врача. Она иллюстрирует как роджерианскую методику побуждения пациента продолжать разговор, так и работу машинной программы «Элиза». Первой «говорит» молодая особа. Вычислительная машина отвечает.

— Все мужчины одинаковы.

— В ЧЕМ?

— Вечно они донимают нас то тем, то другим.

— МОЖЕТЕ ЛИ ВЫ ПРИВЕСТИ КОНКРЕТНЫЙ ПРИМЕР?

---

[37] См.: *Вейценбаум Дж.* Возможности вычислительных машин и человеческий разум. От суждений к вычислениям. М., 1982.

— Ну, например, мой друг заставил меня прийти сюда.

И т. д.

«Доктор», как стали называть «Элизу», исполняющую роль психиатра, вскоре приобрел известность в Массачусетском технологическом институте, где эта программа появилась на свет главным образом благодаря простоте ее демонстрации. Большинство других программ не позволяло так живо продемонстрировать посетителям, не обладающим определенными специальными знаниями, например, в некоторых областях математики, мощь вычислительной машины в обработке информации. С другой стороны, любой человек в состоянии в определенной степени оценить «Доктора». Его сила как демонстрационного средства еще больше увеличивалась благодаря тому, что посетитель мог принять непосредственное участие в его работе. Вскоре аналоги «Доктора», созданные на основе опубликованного Вейценбаумом описания, стали появляться в других организациях США. Программа сделалась известной во всей стране, а в некоторых кругах приобрела статус «американской игры»,

Потрясения, которые Вейценбауму пришлось пережить в процессе роста известности и распространения «Доктора», были связаны в основном с тремя следующими независимыми друг от друга событиями.

1. Ряд практикующих психиатров всерьез поверили, что программа «Доктор» может перерасти в почти полностью автоматизированную форму психотерапии. Сложный творческий процесс проникновения воображения врача во внутренний мир пациента они были согласны свести к сугубо техническому приему.

2. Вейценбаум был встревожен, увидев, как быстро люди, разговаривающие с «Доктором», вступали в эмоциональный контакт с вычислительной машиной, каким тесным он оказывался и как явно они ее антропоморфизировали.

3. Другой неожиданной для Вейценбаума реакцией на программу «Элиза» было распространение убеждения, что она демонстрирует общее решение задачи понимания вычислительной машиной естественного

языка. В своей работе он старался показать, что общее решение этой задачи невозможно, т, е. понимание языка происходит исключительно в рамках определенного контекста и даже эти рамки бывают общими для различных людей лишь в ограниченной степени; поэтому даже люди никоим образом не являются олицетворением подобного общего решения. Эти выводы, однако, часто игнорировались. Заслуга «Элизы» — это наглядное подтверждение важности контекста для понимания языка.

Такая реакция на «Элизу» ярко показала, что даже высокообразованная публика способна и стремится приписывать не понимаемой ею технике чрезвычайно преувеличенные возможности. Отношение широкой публики к новым техническим достижениям, несомненно, намного больше зависит от того, какими свойствами эта техника наделяется, а не от того, какими свойствами она действительно обладает или что она может и чего не может делать. Если, как это, по-видимому, и есть, представления публики предельно неправильны, то и ее решения неизбежно должны быть неверно ориентированы и зачастую неправильны.

Из этих замечаний вытекают трудные вопросы: какова, например, ответственность ученого при обнародовании своей работы? И перед кем (или чем) ответствен ученый?

Взгляды Дж. Вейценбаума отражают смену парадигм, происходившую на протяжении тридцатилетней истории кибернетики, а также и сам факт выделения в ее рамках таких направлений, как информатика и искусственный интеллект, и влияние, оказываемое ими на кибернетику в целом.

Ход работ в области сложных методов обработки информации, а также и все развитие кибернетики в целом привели к тому, что в начале 70-х гг. возникла новая концепция использования ЭВМ. Кратко ее определяют как «симбиоз» человека и вычислительной машины, вычисления на основе кооперации человека и вычислительной машины.

В связи с этим произошла и некоторая переориентация целей искусственного интеллекта. В силу ряда обстоятельств создание «мыслящей машины» постепенно теряло значение. Во-первых, ни наука о человеке, ни техническая ветвь кибернетики не были еще готовы к тому, чтобы совместно решать эту задачу. Во-вторых, рост сфер приложений кибернетики выдвигал собственные задачи и усугублял разрыв кибернетики с проблемой человека. В-третьих, интенсивное развитие вычислительной техники требовало разработки вычислительных систем, совершенствования методов работы с машинами, создания систем программного обеспечения, языков, теории программирования.

Развитие искусственного интеллекта в 60-е — первую половину 70-х гг. привело к получению двух принципиальных выводов.

Во-первых, способность «интеллектуальной» системы решать задачи определяется в первую очередь теми специальными знаниями, которыми она располагает, и только во вторую — универсальностью и мощностью используемых ею методов вывода. Парадигма искусственного интеллекта сменилась в том отношении, что фундаментальной проблемой стало считаться не обнаружение ряда мощных методов, а способ представления значительного объема знаний таким образом, чтобы были обеспечены эффективный доступ к ним и эффективное их использование. Во-вторых, стали более ясны роль и природа знаний, используемых квалифицированным специалистом-экспертом при решении задачи.

Долгосрочной целью исследований стало считаться создание машинных программ, способных воспринимать задание от пользователя в виде указания о том, что должно быть сделано, причем пользователь обращается к машине на удобном для него, т. е. естественном языке, используя способ коммуникации с машиной, удобный для него (например, речь или изображения), задание формулируется в общем виде, допускаются неопределенности, неточности, даже ошибки. Короче говоря, пользователь, работающий с подобной программой, может считать, что имеет дело с «разумным посредником», способным использовать свои знания для того, чтобы понять намерения пользователя, устранить неопределенности, конкретизировать его абстракции, выделить соответствующие подцели и, наконец, трансформировать «что» пользователя в последовательность этапов решения, определяющую, как реальная вычислительная машина будет обеспечивать выполнение этого «что».

Если мы не знаем способов сделать вычислительные машины мудрыми, то мы не должны возлагать на вычислительные машины задачи, разрешение которых требует мудрости. Эту мысль выражал Вейценбаум: вспомним — еще Винер незадолго до смерти писал: «Отдайте же человеку — человеческое, а вычислительной машине — машинное. В этом и должна, по-видимому, заключаться разумная линия поведения при организации совместных действий людей и машин. Линия эта в равной мере далека и от устремлений машинопоклонников, и от воззрений тех, кто во всяком использовании механических помощников в умственной деятельности усматривает кощунство и принижение человека»[38].

Но во времена Винера искусственный интеллект был все-таки игрой, лозунгом, чем-то, что произойдет потом, в отдаленном будущем. Сегодня же это предмет будничной, повседневной работы, работы, которой заняты тысячи специалистов самой разной квалификации, а не только отдельные ученые. Проблема передачи интеллектуальных функций машинам является предметом дискуссий, ведущихся чуть ли не с самого рождения кибернетики по сей день. Их участники с разных позиций пытаются однозначно ответить на вопрос — существуют или не существуют принципиальные различия между человеческим сознанием и машинно-вычислительным миром.

Обычно считается (условно), что со времени своего отделения от кибернетики в конце 50-х гг. XX в. исследования в области искусственного интеллекта прошли три этапа[39].

[38] См.: *Вейценбаум Дж.* Возможности вычислительных машин и человеческий разум. От суждений к вычислениям. М., 1982.

[39] См.: *Петрунин Ю.Ю.* От тайного знания к нейрокомпьютеру: Очерки по истории искусственного интеллекта. М., 1996.

Первый этап. 1950 — 1960-е гг. Это время становления исследовательских программ, формирования круга задач, относящихся к этому научному направлению: игры, доказательство теорем, распознавание образов, понимание естественного языка, машинный перевод, робототехника и др., создание методов и инструментов решения этих задач (язык ЛИПС, персептрон и др.).

Второй этап. 1960 — 1970-е гг. Искусственный интеллект приобретает статус научно-технической дисциплины. Проводятся первые международные конференции, начинают издаваться журналы, читаются соответствующие курсы в университетах. Разрабатываются фундаментальные теории, послужившие в дальнейшем основой новых интеллектуальных программ (нечеткая логика, модели представления знаний, генетические алгоритмы и др.).

Третий этап. С 80-х гг. и далее. Связан прежде всего с практическим коммерческим использованием достижений искусственного интеллекта в разных сферах деятельности: финансах, экономике, компьютерной и бытовой технике, управлении (экспертные системы, программы интеллектуального анализа данных, нейрокомпьютеры и биокомпьютеры). В одном из разделов искусственного интеллекта, называемом роботикой, рассматриваются вопросы использования интеллектуальных машин для манипулирования предметами в реальном мире.

Для этого этапа характерно также изучение и моделирование рациональных структур в связи с эмоциями, верованиями, чувствами, практическими навыками и неаналитическими методами обработки образной информации, что сближает современные модели искусственного интеллекта с их естественным человеческим прототипом.

В области исследований, называемой искусственным интеллектом, изучаются способы создания вычислительных машин, обладающих «интеллектуальным» поведением. Чтобы лучше понять сущность таких исследований, необходимо прежде всего разобраться в смысле самого понятия *интеллект* и вытекающего отсюда понятия интеллектуального поведения. Необходимо сказать и о том, что может подразумеваться под словом *машина* в современном понимании, хотя этот вопрос несравненно более простой, чем попытка определить интеллект. По существу, последний так и не получил достаточно удовлетворительного объективного определения. Поэтому в конечном счете нам приходится вернуться к нашему интуитивному представлению об интеллекте, дополненному и расширенному на основании результатов тех исследований, которые по сложившейся традиции принято относить к области искусственного интеллекта. В данном контексте слово *машина* обычно означает некоторую программу, реализуемую на универсальной вычислительной машине.

Что же такое интеллект? Психологи обычно с большой осторожностью подходят к вопросу об определении понятия интеллекта: единственное непротиворечивое определение состоит в следующем: «Интеллект — это то, что оценивается в интеллектуальных тестах». Некоторые исследователи, работающие в области искусственного интеллекта, пошли именно по этому пути, составив программы для решения задач типа тех, которые предлагаются в тестах по проверке уровня интеллектуальности.

Однако предпочтительнее было бы иметь более общее определение. Интеллект иногда определяют как способность правильно реагировать на новую ситуацию.

Попытка определить понятие «интеллект» равносильна попытке дать определение мышлению при ответе на вопрос «могут ли машины мыслить?». Можно сказать, что сама проблема искусственного интеллекта и есть не что иное, как попытка ответить на этот вопрос. В этой связи примечательно то обстоятельство, что сегодня мы вряд ли рассматриваем микрокалькулятор как интеллектуальное или мыслящее устройство. Однако еще несколько десятилетий назад люди считали бы карманный калькулятор интеллектуальным устройством. Сегодня же для такой оценки от машины требуется гораздо большее. Очевидно, что наше представление о «думающей машине» со временем по мере развития техники изменяется.

Можно сказать, что существующие программы для вычислительных машин удовлетворяют тесту Тьюринга в его простом варианте. Отдельные игровые программы достаточно хорошо имитируют поведение человека. Некоторые люди даже уверены, что они играют с человеком. Например, описанная выше программа «Элиза», играющая роль психиатра. Пациенты, с которыми «беседовала» эта программа, в большинстве случаев не сомневались в том, что они общаются с врачом.

Такие программы, однако, не имитируют полностью интеллект человека, способного вести разговор на самые различные темы, — а именно это, по-видимому, имел в виду Тьюринг. Очевидно, что игровые программы соответствуют поведению людей лишь в весьма ограниченной области. Вычислительные машины могут весьма эффективно имитировать поведение человека в какой-то одной узкой области деятельности.

Не вызывает сомнения, что за словами «искусственный интеллект» стоит важное научное направление. Тем не менее остаются открытыми два важных вопроса.

1. Действительно ли методы, которые объединены в понятии «искусственный интеллект», имитируют в значительной мере то, что мы интуитивно понимаем под интеллектом? Другими словами, оправдан ли сам термин «искусственный интеллект»?

2. Существуют ли такие аспекты интеллекта человека, которые *в принципе* нельзя смоделировать на вычислительной машине?

Первый из этих вопросов весьма близок к ранее поставленному вопросу: могут ли машины мыслить? Оба эти вопроса весьма неточны и во многом зависят от нашего интуитивного представления об интеллекте, а также от целого ряда других, столь же нечетких понятий. Вследствие нечеткости самого вопроса при его рассмотрении необходимо сразу же отказаться от тенденции не считать тот или иной вид деятельности проявлением интеллекта только на том основании, что он осуществляется машиной.

Когда появились первые цифровые вычислительные машины, в популярной литературе их называли гигантским мозгом. Достаточно ответственные ученые сочли тогда необходимым выдвинуть более трезвую точку зрения, подчеркивая роль машины как послушного исполнителя воли человека. Однако несколько лет спустя, когда вычислительные машины и методы программирования достигли значительного совершенства, многие из этих ученых изменили свою точку зрения. Конечно, нельзя уйти от того факта, что вычислительная машина является послушным исполнителем программы. Но когда ЭВМ и программа становятся достаточно сложными, поведение машины может оказаться практически непредсказуемым. Поэтому не лишено смысла рассматривать машину как устройство, способное к созданию нового.

Как отмечалось ранее, существует некоторое разнообразие в подходах к проблеме искусственного интеллекта. Можно говорить о некой дихотомии, поскольку эти подходы можно разделить на два главных направления:

- эвристическое программирование;
- нейронная кибернетика, или самоорганизующиеся системы.

В дальнейшем эти исследовательские программы часто будут называть на новой стадии их развития соответственно:

- компьютерное моделирование и
- нейрокомпьютинг.

То, что обычно понимают под исследованием в области искусственного интеллекта, — это работа, абсолютно свободная от каких-либо попыток моделирования процессов активности нервной системы. Большинство программ, созданных для вычислительных машин (эта работа ведется исключительно с применением ЭВМ), не предусматривают возможности обучения «на опыте». Про эти программы можно лишь сказать, что если они вообще моделируют мыслительную деятельность человека, то на достаточно высоком уровне. Но это, конечно, не исключает их потенциальной ценности для познания механизма действия мозга: систему такой сложности, какую представляет собой мозг, необходимо исследовать самыми различными методами, включая — возможно, в первую очередь — моделирование высоких уровней.

Согласно этому направлению, искусственный интеллект — подход на основе эвристического программирования. Это название уместно, поскольку эвристики широко используются в работах, ведущихся в рамках названного подхода. В литературе по искусственному интеллекту понятие «эвристика» противопоставляется понятию «алгоритм». Алгоритм — это набор инструкций или четко сформулированных операций, составляющих определенную процедуру. А эвристика представляет собой некоторое произвольное правило, стратегию, хитрость, упрощение или любое другое средство, которое ограничивает объем поиска решений в крупных пространствах решений.

Для обозначения эвристического программирования иногда используют термин «модели понимания», противопоставляя этот подход другому подходу к созданию искусственного интеллекта, а именно «нейронной кибернетике», или «самоорганизующимся системам».

Специалисты по нейронной кибернетике подходят к проблеме разработки интеллектуальных машин, постулируя существование большого числа очень простых элементов обработки информации, собранных в случайную или организованную сеть, и наличие некоторых процессов стимулирования или подавления их активности. Создатели «моделей понимания» отличаются более «макроскопическим» подходом и основываются в своих работах на в высшей степени сложных механизмах переработки информации. Они полагают, что создание интеллектуальной машины — задача настолько трудная, что ее невозможно решить, не начав все с самого начала, и поэтому включают в свои системы процессы обработки информации той максимальной степени сложности, которую только они способны сами понять и передать вычислительной машине (путем программирования). Необходимо отметить, что споры между сторонниками двух отмеченных подходов к проблеме искусственного интеллекта продолжаются.

Работы в области искусственного интеллекта ведутся в следующих основных направлениях: доказательство теорем, модели игр, распознавание образов, использование естественного языка, экспертные системы, инженерия знаний, роботика.

Надо заметить, что роботика имеет непосредственную практическую ценность. Роботика — область исследований, ставящая своей целью вывести машины из вычислительных центров в реальный мир. Это — безусловно, область применения искусственного интеллекта.

Современное состояние исследований в области искусственного интеллекта характеризуется большой активностью. Это, например, такие направления работ, как способы представления и приобретения знаний, моделирование рассуждений и поведения, экспертные системы реального времени, динамические интеллектуальные системы, автономные интеллектуальные агенты, методы обучения интеллектуальных систем, задачи анализа текста, модели пользователя, человеко-машинный интерфейс. Развиты приложения данных разработок в различных областях.

Искусственный интеллект как исследовательская программа представляет собой в настоящее время конгломерат различных дисциплин, связанный не столько общей задачей, сколько общим когнитивным истоком, попыткой ответить на вечный вопрос: что значит знать? В поисках ответа на этот вопрос исследователи стремились смоделировать познавательные процедуры в искусственных устройствах. Прогресс в этом направлении привел к становлению множества самостоятельных дисциплин, объединенных историческими истоками и общим названием. Он обусловил неопределенность базовых понятий, но вместе с тем создавал стимулы для широкого междисциплинарного синтеза.

В области искусственного интеллекта есть большие достижения и большие трудности в развитии. Трудности в моделировании актов интеллекта показывают, в частности, недостаточные эвристические возможности современной философии и психологии сознания.

Различение между интеллектом, рассудком и умом, которое принимало различные формы в истории философии, выявляло не только разные сегменты рационального сознания, но и позволяло указывать на те сегменты, которые обеспечивают продуктивный познавательный синтез в различных формах, раскрывать за пределами воспроизводимого в актах мышления то, что остается невоспроизводимым остатком, творческим началом, относящимся либо к интуиции, либо к внедискурсивным актам. Достижения в компьютерном моделировании актов интеллекта являются моделированием вербальных актов интеллекта, и в частности лингвистических и лингво-философских отчетов об интеллекте.

Особое внимание обращается на существование следующего семантического пробела в исследованиях искусственного интеллекта[40] — это различие между естественным языком и языками программирования. Он не может быть преодолен до тех пор, пока не будут созданы новые средства анализа естественного языка и интеллекта, которые позволили бы осмыслить его метафорические истоки, его укорененность не только в однозначном вербальном выражении, а и в фигурах речи, предполагающих не только способы аргументации, но и молчание (паузы с различным смыслом), невербальные акты (жесты, мимику, и др.), интонацию и т. д. Первые важные шаги на этом пути осуществлены в лингвистике, которые сделали предметом своего исследования концепты родного языка и их сравнительный анализ, а также в теории коммуникативного действия.

Необходимо обратить внимание и на проблему, заключающуюся в элиминации в проблеме искусственного интеллекта субъективной ментальной реальности, сознательного субъективного опыта. И алгоритм, и продуктивное начало, и способы представления знаний трактуются как в компьютерном моделировании, так и в нейрокомпьютинге как логический интеллект, то есть

[40] См.: *Огурцов А.П.* Достижения и трудности в моделировании интеллектуальных актов // Новое в искусственном интеллекте. М., 2005.

как вынесение суждения на основании однозначного алгоритма, имеющего надиндивидуальную, общезначимую ценность, в то время как мышление всегда индивидуально и личностно.

Трудности современного компьютерного моделирования неразрывно связаны с нерешенностью ряда проблем философии и психологии сознания, эвристические возможности которых отстают от запросов развития. Это трудности прежде всего философии и психологии сознания.

Теперь обратимся к рассмотрению проблемы: является ли разум вычислительным разумом.

Рассмотрим ее в интерпретации известного математика Р. Пенроуза. Свои взгляды он изложил в двух книгах, вызывающих большой интерес у научной интеллигенции: «Новый ум короля: о компьютерах, мышлении и законах физики»[41] и «Тени разума: в поисках науки о сознании»[42].

Пенроуз ищет весомые доводы против чисто вычислительной модели феномена понимания. Одну из главных тем книг составляет убеждение Пенроуза в том, что, используя сознание, мы способны выполнять действия, не имеющие ничего общего с какими бы то ни было вычислительными процессами. Он также высказывает правдоподобное предположение относительно механизма церебральной активности, посредством которого наше управляемое сознанием поведение может основываться на какой-либо физической активности невычислительного характера.

Он проводит исследование, результаты которого подтверждают тезис Пенроуза о том, что сознание в его конкретном проявлении человеческого «понимания» делает нечто такое, чего простые вычисления воспроизвести не в состоянии. Причем под термином «вычисления» здесь подразумеваются как процессы, реализуемые системами, действующими в соответствии с конкретными и прозрачными алгоритмическими

---

[41] *Пенроуз Р.* Новый ум короля: о компьютерах, мышлении и законах физики. М., 2005.

[42] *Пенроуз Р.* Тени разума. В поисках науки о сознании. М.; Ижевск, 2005.

процедурами, так и процессы, реализуемые системами, которые программируются не столь жестко и способны вследствие этого к обучению на основании приобретенного опыта. В заключение делается вывод о том, что сознательное мышление и в самом деле должно включать в себя процессы, которые с помощью одних лишь вычислительных методов невозможно даже адекватно *смоделировать;* еще менее способны вычисления, взятые сами по себе, обусловить какое бы то ни было сознательное ощущение или желание. Иными словами, разум, по всей видимости, представляет собой такую сущность, которую никоим образом невозможно описать посредством каких бы то ни было вычислений.

Далее Пенроуз попытается разобраться, каким именно образом в пределах действия научно постижимых физических законов может возникать подобная невычислимая активность. Пенроуз глубоко убежден в том, что научный путь к пониманию феномена разума несомненно существует, и начинаться этот путь должен с более глубокого познания природы собственно физической реальности.

Некоторые склонны верить, отмечает Пенроуз, что мы действительно способны приблизиться к научному пониманию сознания, что в этом феномене вообще нет *ничего* загадочного, а всеми существенными его ингредиентами мы уже располагаем. Они утверждают, что в настоящий момент наше понимание мыслительных процессов человека ограничено лишь крайней сложностью и изощренной организацией человеческого мозга; разумеется, эту сложность и изощренность недооценивать ни в коем случае не следует, однако принципиальных препятствий для выхода за рамки современной научной картины нет. На противоположном конце шкалы расположились те, кто считает, что мы не можем даже надеяться на адекватное применение холодных вычислительных методов бесчувственной науки к тому, что связано с разумом, духом, да и самой тайной сознания человека.

Пенроуз решил попытаться обратиться к вопросу сознания с научных позиций. При этом, однако, он твердо убежден (и основано это убеждение на *строго* научной аргументации) в том, что в современной научной картине мира отсутствует один очень важный ингредиент. Этот недостающий ингредиент совершенно необходим, если мы намерены хоть сколько-нибудь успешно уместить центральные проблемы мыслительных процессов человека в рамки логически последовательного научного мировоззрения. Он утверждает, что сам по себе этот ингредиент не находится за *пределами*, доступными науке, хотя в данном случае нам, несомненно, придется в некоторой степени расширить наш научный кругозор, расширить современную картину физической вселенной. Это направление связано с серьезным изменением самых основных из наших физических законов; он весьма детально описывает необходимую природу этого изменения и возможности его применения к биологии нашего мозга.

Пенроуз убежден, что современное научное мировоззрение, которое на глубинном уровне не желает иметь ничего общего с проблемой сознания и мышления, все же не может всерьез претендовать на абсолютную завершенность. Пенроуз полагает, что сознание является частью нашей Вселенной, а потому любая физическая теория, которая не отводит ему должного места, заведомо неспособна дать истинное описание мира. Он склонен думать, что пока ни одна физическая, биологическая либо математическая теория не приблизилась серьезно к объяснению нашего сознания и его логического следствия — интеллекта; однако этот факт ни в коей мере не должен отпугнуть нас от научных поисков такой теории.

Пенроуз ставит на обсуждение вопрос: как соотносятся вычисление и сознательное мышление? И показывает, что можно говорить как минимум о четырех различных точках зрения — или даже крайностях, — которых разумный человек может придерживаться в отношении данного вопроса.

А) Всякое мышление есть вычисление; в частности, ощущение осмысленного осознания есть не что иное, как результат выполнения соответствующего вычисления.

B) Осознание представляет собой характерное проявление физической активности мозга; хотя любую физическую активность можно моделировать посредством той или иной совокупности вычислений, численное моделирование как таковое не способно вызвать осознание.

C) Осознание является результатом соответствующей физической активности мозга, однако эту физическую активность невозможно должным образом смоделировать вычислительными средствами.

D) Осознание невозможно объяснить в физических, математических и вообще научных терминах.

Точка зрения D, полностью рассматривающая разум как нечто абсолютно неподвластное языку науки, свойственна мистикам; и, по крайней мере, в какой-то степени, такое мировоззрение, видимо, сродни религиозной доктрине. Лично Пенроуз считает, что связанные с разумом вопросы, пусть даже и не объясняемые должным образом в рамках современного научного понимания, не следует рассматривать как нечто, чего науке никогда не постичь. Пусть на данный момент наука и не способна сказать в отношении этих вопросов своего веского слова, но со временем ее возможности неминуемо расширятся настолько, что в ней найдется место и для таких вопросов, причем не исключено, что в процессе такого расширения изменятся сами ее методы. Отбрасывая мистицизм с его отрицанием научных критериев в пользу научного познания, Пенроуз все же убежден, что и в рамках усовершенствованной науки вообще и математики в частности найдется немало загадок, среди которых не последнее место займет тайна разума.

Пенроуз согласиться с точкой зрения D никак не может, поскольку твердо намерен двигаться вперед, следуя пути, проложенному наукой.

Теперь обратимся к рассмотрению Пенроузом противоположной крайности: к точке зрения A. Эту точку зрения разделяют сторонники так называемого *сильного*, или *жесткого, искусственного интеллекта;* иногда для обозначения такой позиции употребляется также термин *функционализм.* Одни считают A единственно возможной точкой зрения, которую допускает сугубо научное отношение. Другие воспринимают А как нелепость, которая вряд ли стоит сколько-нибудь серьезного внимания. Существует, несомненно, множество различных вариантов позиции А, отличающихся различным пониманием того, что следует считать вычислением или выполнением вычисления. Пока Пенроуз считает достаточным понимать под «вычислением» такую операцию, какую способны выполнять обычные универсальные компьютеры.

Другие сторонники позиции А могут расходиться в интерпретации значения терминов «осмысление» или «осознание». Некоторые отказываются признавать само *существование* такого феномена, как «осмысленное осознание», тогда как другие собственно феномен признают, однако рассматривают его лишь как своего рода «эмерджентное свойство», которое проявляется всякий раз, когда выполняемое вычисление имеет достаточную степень сложности. Пока же любые расхождения в возможной их интерпретации не будут иметь особой важности для рассуждений.

Хотя лично Пенроуз не верит в истинность А, в позицию сильного искусственного интеллекта, он все же рассматривает эту точку зрения как реальную возможность, на которую стоит обратить серьезное внимание. А есть следствие предельно операционного подхода к науке, предполагающего, что абсолютно все феномены физического мира можно описать одними лишь вычислительными методами. В одной из крайних вариаций такого подхода сама вселенная рассматривается, по существу, как единый гигантский компьютер, причем «осмысленные осознания», формирующие, в сущности, наш с вами сознательный разум, вызываются посредством соответствующих субвычислений, выполняемых этим компьютером.

Пенроуз полагает, что эта точка зрения (согласно которой физические системы следует считать простыми вычислительными объектами) отчасти основывается на значительной и постоянно растущей роли вычислительных моделей в современной науке и отчасти на убеждении в том, что сами физические объекты — это, в некотором смысле, всего лишь «информационные модели», подчиняющиеся математическим, вычислительным законам. Бóльшая часть материи, из которой состоят наше тело и мозг, постоянно обновляется — неизменными остаются лишь их *модели.* Сама материя есть нечто неопределенное и недолговечное, поэтому вполне разумно предположить, что постоянство человеческого «я», возможно, больше связано с сохранением *моделей,* нежели реальных частиц материи.

Даже если мы не считаем возможным рассматривать Вселенную всего лишь как компьютер, к точке зрения A нас могут подтолкнуть более практические, операционные соображения. Предположим, что перед нами управляемый компьютером робот, который отвечает на вопросы так же, как это делал бы человек. Мы спрашиваем его, как он себя чувствует, и обнаруживаем, что его ответы полностью соответствуют нашим представлениям об ответах на подобные вопросы разумного существа, действительно обладающего чувствами. Он говорит нам, что способен к осознанию, что ему весело или грустно, что он воспринимает красный цвет и что его волнуют вопросы «разума» и «собственного Я». Он может даже выразить озадаченность тем, следует ли ему допустить, что и других существ (в частности, людей) нужно рассматривать как обладающих сознанием, сходным с тем, на обладание которым претендует он сам. Что помешает нам поверить его утверждениям о том, что он ощущает, любопытствует, радуется, испытывает боль, особенно если учесть, что о других людях мы знаем ничуть не больше и все же считаем их обладающими сознанием? Операционный аргумент обладает значительной силой, хотя его и нельзя считать решающим. Если все внешние проявления сознательного разума, включая ответы на непрекращающиеся вопросы, действительно могут быть полностью воспроизведены системой, управляемой исключительно вычислительными алгоритмами, то мы имеем полное право допустить, что в рамках рассматриваемой ситуации такая модель должна содержать и все внутренние проявления разума (включая собственно сознание).

Принимая или отвергая такой вывод из вышеприведенного рассуждения, которое в основе своей составляет суть теста Тьюринга, мы тем самым определяем свою принадлежность к тому или иному лагерю — именно здесь проходит граница между позициями А и В. Согласно А, любого управляемого компьютером робота, который после достаточно большого количества заданных ему вопросов ведет себя так, словно он обладает сознанием, следует фактически считать обладающим сознанием. Согласно В, робот вполне может вести себя точно так же, как обладающий сознанием человек, при этом реально не имея и малой доли этого внутреннего качества. И А, и В сходятся в том, что управляемый компьютером робот может вести себя так, как ведет себя обладающий сознанием человек, С же, напротив, не допускает и малейшей возможности того, что когда-либо может быть реализована эффективная модель обладающего сознанием человека в виде управляемого компьютером робота. Таким образом, согласно С, после некоторого достаточно большого количества вопросов реальное отсутствие сознания у робота так или иначе проявится. Вообще говоря, С является в гораздо большей степени операционной точкой зрения, нежели В, и этом отношении она больше похожа на А, чем на В.

Так что же представляет собой позиция В? Пенроуз показывает, что В — это, вероятно, именно та точка зрения, которую многие полагают научным здравым смыслом. Описываемый ею искусственный интеллект еще называют *слабым* (или *мягким)* искусственным интеллектом. Подобно А она утверждает, что все физические объекты этого мира должны вести себя в соответствии с некоторыми научными принципами, которые в принципе допускают создание вычислительной модели этих объектов. С другой стороны, эта точка зрения уверенно отрицает мнение операционистов, согласно которому любой объект, внешне проявляющий себя как сознательное существо, непременно обладает сознанием.

Ведь вычислительную модель физического процесса никоим образом не следует отождествлять с самим процессом, происходящим в действительности. (Компьютерная модель, например, урагана — это совсем не то же самое, что реальный ураган.) Согласно взгляду B, наличие или отсутствие сознания очень сильно зависит от того, какой именно физический объект «осуществляет мышление» и какие физические действия он при этом совершает. И только потом следует рассмотреть конкретные вычисления, которых требуют эти действия. Таким образом, активность биологического мозга может вызвать осознание, а вот его точная электронная модель вполне может оказаться на это неспособной. *Это* различие, по B, совсем не обязательно должно оказаться различием между биологией и физикой. Однако крайне важным остается реальное *материальное* строение рассматриваемого объекта (скажем, мозга), а не просто его вычислительная активность.

Позиция C, на взгляд Пенроуза, ближе всех к истине. Она подразумевает более операционный подход, нежели B, так как утверждает, что существуют такие внешние проявления обладающих сознанием объектов (скажем, мозга), которые отличаются от внешних проявлений компьютера: внешние проявления сознания невозможно должным образом воспроизвести вычислительными методами. Поскольку C, как и B, не отвергает позиции физикалистов, согласно которой разум возникает в результате проявления активности тех или иных физических объектов (например, мозга, хотя это и не обязательно), следовательно, C подразумевает, что не всякую физическую активность можно должным образом смоделировать вычислительными методами.

Допускает ли современная физика возможность существования процессов, которые принципиально невозможно смоделировать на компьютере? Если мы надеемся получить на этот вопрос математически строгий ответ, то нас ждет разочарование. По крайней мере, Пенроуз убежден в том, что подобные невычислимые процессы следует искать за пределами тех областей физики, которые описываются известными на настоящий момент физическими законами.

Пенроуз перечисляет в своей книге некоторые весьма серьезные — причем именно физические —

доводы в пользу того, что мы действительно нуждаемся в новом взгляде на ту область, которая лежит между уровнем микроскопических величин, где господствуют квантовые законы, и уровнем «обычных» размеров, подвластным классической физике. Хотя, надо сказать, далеко не все современные физики единодушно уверены в необходимости подобной новой физической теории.

Таким образом, Пенроуз показывает, что существуют, как минимум, две различные точки зрения, которые можно отнести к категории C. Одни сторонники C утверждают, что наше современное физическое понимание абсолютно адекватно, следует лишь в рамках традиционной теории обратить более пристальное внимание на некоторые тонкие типы поведения, которые вполне могут вывести нас за пределы того, что целиком и полностью объяснимо с помощью вычислений (например, хаотическое поведение, некоторые тонкости непрерывного действия в противоположность дискретному, квантовая случайность). Другие же, напротив, полагают, что современная физика в сущности не располагает должными средствами для реализации невычислимости требуемого типа. Пенроуз представлет некоторые доводы в пользу принятия позиции C именно в этом, более строгом ее варианте, который предполагает создание фундаментально новой физики.

Определенные выше точки зрения A, B, C, D представляют собою крайности, или полярные точки возможных позиций, которых может придерживаться тот или иной индивидуум. Безусловно, между такими крайними точками зрения, как A и B, можно разместить множество других промежуточных точек зрения.

Проблема виртуальной реальности (симбиоз человека и компьютера)

Тема виртуальной реальности в настоящее время очень актуальна в связи с огромным прогрессом в сфере компьютерных информационных технологий.

В последние годы развитие информационных технологий позволило создать технические феномены, которые в популярной и научной литературе получили название «виртуальной реальности» («ВР-систем»). Мы рассмотрим следующие вопросы.

- Предпосылки идеи виртуальной реальности.
- Понятие виртуальной реальности.
- Характер реальности, присущий виртуальной реальности.

Рассмотрим предпосылки идеи виртуальной реальности: человеческие, культурные, научно-технические. Где можно увидеть истоки этой идеи?

В истории человечества устойчиво повторяется тема чудодейственного пришествия Бытия, которое освободило бы людей от влияния линейного, причинного мира. Пришествие такого Бытия почти всегда обещает искусственно создаваемая реальность, воспроизводящая в усугубленной форме все житейские наслаждения, но освобождающая от всего нежелаемого и позволяющая моментально получить все желаемое, и все это в бесчисленном сочетании и нескончаемом повторении. Более всего новое и улучшенное состояние, привнесенное Бытием, делает ненужным линейность, временную связанность, ограниченность. Следовательно, позволяет избавиться от тяжелой ноши необходимости принимать очередное решение, а затем ожидать одного из тысячи возможных последствий или, возможно, нести вечный груз ожидания и неполучения ответа.

Идея создания миров, неотличимых от нашего собственного, но лишенных всех его недостатков, всегда владела умами людей. Эти мечты часто связываются с развивающейся в настоящее время технологией виртуальной реальности.

Технология виртуальной реальности и ее перспективы захватывают наше воображение. С развитием этой технологии появляется возможность создавать свои собственные миры, а эта идея вдохновляла как поэтов, так и политиков всех времен. Виртуальная реальность, возможно, позволит создавать миры, на практике неотличимые от того, в котором мы живем.

Виртуальная реальность манит мечтателя вперед, завлекая его воображение обещанием «воскрешения возвеличенного тела человеческого общества», воображаемого библейскими писателями. Воскрешение «тела» человеческого общества последует за смертью опустошенного и испорченного тела современной цивилизации. На субъективном уровне многие писатели и мыслители о «киберпространстве» желают «загрузить себя» в «виртуальный мир» и таким образом избавиться от фундаментального страха, покоящегося на знании о неминуемой будущей своей физической смерти. Формируется миф, который помогает обеспечить правильную степень достижимости мечты и сохраняет при этом понятие «непохожести», которое так необходимо для окончательной веры в силу Бытия.

Откуда пришла виртуальная реальность? С середины 80-х гг. прошлого века повсеместно начали появляться персональные компьютеры; компьютерные видеоигры стали обычным явлением; компьютерные сети и мини-компьютеры стали более производительными и доступными для работников университетов и корпораций; люди начали интересоваться компьютерной графикой и звуком; огромные информационные хранилища сделались доступны on-line; а некоторые хакеры превратились в угрожающих взломщиков сетей. И, конечно, скорость изменения технологии оставалась большой, что для мира компьютеров означало улучшение и удешевление оборудования. Таким образом, компьютеры становятся невидимыми: они растворяются в карбюраторах, тостерах, телевизорах и наручных часах; и повсеместно они становятся важной частью сначала бизнеса, а затем и личной жизни.

Тем временем глобальная медиа-машина, конструируемая десятилетиями, быстро развивалась, довольно часто поддерживаемая продуктами компьютерной революции. Граница между зрелищем и политикой, между симулируемым и реальным сначала становилась более прозрачной, а затем почти полностью исчезла. Век постмодерна оказался среди людей. При этом одним из моментов создаваемого мифа о виртуальном мире является неотвратимость такой технологии. Эта неотвратимость демонстрируется путем выбора последовательности событий и их экстраполяции на определенное время вперед от такой предыстории.

При этом виртуальная реальность представляется[43] как экстраполяция пересказа истории компьютинга. Акцент делается на успешной имитации некоторого ограниченного класса взаимодействий человека с окружающей средой. При помощи пересказов тестов Тьюринга, Китайских комнат и других успешных симуляций экстраполированное будущее выглядит вполне правдоподобным. Средства массовой информации, продукция Голливуда, успехи космической и авиационной промышленности, интервью с учеными — все это добавляется к источникам мифа о возможностях виртуальной реальности. В то же время создание виртуальной реальности в форме компьютерных игр дает отдельному человеку вполне осязаемую основу для веры. При этом стоит иметь в виду результаты социологических исследований западных, прежде всего американских ученых. Они показывают, что эта технология виртуальной реальности сильно коммерционизирована и предприниматели весьма заинтересованы в ней. Они стремятся обеспечить успех и подогревают интерес к ней соответствующими средствами.

Конечно, надо признать, что развитие идеи виртуальных миров находится в соответствии с желаниями человека найти новые окна, открывающие новые перспективы. Создаваемые новыми информационными технологиями возможности воскрешают извечное желание человека стать демиургом, обрести власть божественного существа, дар вездесущности или просто вседозволенности. Эти мотивации являются ключом к пониманию того грандиозного успеха и того колоссального развития информационных технологий, которые обогащают виртуальные миры.

Идея виртуальных миров не чужда естественнонаучной традиции. Здесь виртуальные миры трактуются как параллельные миры или как иные, совершенно

---

[43] См.: *Войскунский А.Е.* Метафоры Интернета // Вопросы философии. 2004. № 11.

отличные от повседневного возможные миры. В физике известны миры Эверетта. Именно параллельные миры лежат в основании интенсивно разрабатываемой сейчас многомировой интерпретации квантовой теории Эверетта, являющейся одной из интерпретаций квантовой механики. В ней каждая актуализация, реализация квантовой вероятности дает расщепление существовавшей (до этой реализации) вселенной на две и более параллельных вселенных, в каждой из которых имеют место, реализованы все теоретически допустимые вероятностные возможности. А квантовая теория является самым глубоким фундаментом современного научного понимания мира.

Современная космология — наука о нашей Вселенной в целом и ее происхождении — также основывает свои теоретические построения на возможном существовании, наряду с реально имеющим место нашим космосом, также еще и других, параллельно существующих вселенных, возможно, с совсем другими свойствами и качествами.

В логике получило развитие направление, описывающее логически возможные миры.

Возможные миры — это и миры художественных произведений, кинофильмов. Можно считать, что не только развитие человеческого общества, но и искусство, литература, наука подготовили сознание человека к принятию идеи иного мира, виртуального мира.

Проанализируем ситуацию вокруг самого выражения «виртуальная реальность».

Сам термин «виртуальная реальность» одобряют далеко не все авторы. Некоторые из них считают, что термин «виртуальная реальность» — это оксюморон (оксюморон — стилистический оборот, состоящий в подчеркнутом соединении противоположностей, логически исключающих друг друга; например, «сладкая скорбь»).

Другие термины, которые предлагаются для использования — это «синтетическая среда», «киберпространство», «искусственная реальность», «технология симулирования» и т. д. Но, видимо, «виртуальная реальность» – это наиболее общий и наиболее подходящий термин. Он лучше всего выражает суть дела.

Исследование пространства кинематографии показывает, что в зрителе очень велико желание достичь состояния, в котором наилегчайшее побуждение толкнет его преступить все наши жизненные ограничения и жить полностью в мире фильма. Анализ показывает, что наличие у нас потребности в создании искусственной реальности, способности погрузиться в символическое пространство способствует принятию понятия «виртуальная реальность». Оно поддерживает веру в возможность другого набора окружающих вещей и явлений.

Термин «виртуальная реальность» облегчает погружение в новые выдуманные миры, в которых их создатель, человек, желает чувствовать себя как в настоящем.

Виртуальный происходит от слова virtus — власть, возможность, сила.

Вообще-то под термином «виртуальная реальность» понимается реальность в возможности (в становлении) в противоположность реальности актуальной (действующей). Реальность — это то, что в отличие от виртуальности существует действительно (виртуальное не означает фиктивное). Слово «виртуальный» относится[44] также к следующим категориям.

1. Власть. Власть создателя над виртуальной вселенной, которую он создал.

2. Возможность выходить за пределы реального мира, возможность избавляться от бесполезных правил.

3. Сила. Возможность избавиться от своей телесной оболочки, чтобы стать непобедимым, бессмертным.

Понятие виртуального, по-видимому, не совпадает с понятием «возможный» и «потенциальный», хотя и содержит в себе элементы потенциальности. Потенциальные и виртуальные объекты различаются своим статусом существования.

В современном английском языке слово virtual, калька которого используется для обозначения компьютерной виртуальной реальности, означает прежде всего «фактический, действительный, являющийся чем-то

[44] См.: Концепция виртуальных миров и научное познание. СПб., 2000.

по существу, реально (а не формально)» и уже затем «возможный, виртуальный, мнимый, эффективный». По существу в современных информационных системах понятия «виртуальный канал», «виртуальная связь», «виртуальная сеть» делают акцент на фактическое, информационное соединение, отвлекаясь от инженерно-физической реализации этого соединения.

Процессы связаны с информацией, а не только с энергией и вещестом. Винер в 1948 г. фактически установил, что наряду с материей и энергией информация является фундаментальной непосредственной составляющей действительности.

Различия могут быть выделены между существенно разными видами технологии:

– те, которые преобразовывают материю — молотки, сборочные линии;

– те, которые производят и преобразовывают энергию — электростанции и двигатели;

– те, которые преобразовывают информацию — системы коммуникаций и компьютеры.

Последнее (преобразовывание информации) не вещественно и предстает как иной мир, не тот, в котором мы привыкли жить. Мир, в котором царствуют информационные процессы, часто не зависит от физического воплощения информационных каналов. Они существуют, но иначе. И его начали часто называть виртуальным миром.

Впервые возможные миры приобрели статус виртуальной реальности в конце XX в. с созданием компьютерных систем, в которых шлемы и костюмы виртуальной реальности реализуют взаимосоответствие между органами чувств человека и конструктами программного обеспечения, идеальными структурами, созданными фантазией программиста, которые благодаря успехам информационных технологий онтологизируются.

Представим, что нас привели в комнату с электронным оборудованием, в центре которой установлено кресло. Нас просят сесть и надевают нам на голову гарнитуру, содержащую дисплеи и другую электронику. Наши ноги устанавливают на две педали и пристегивают ремешками, на руки надевают перчатки, которые также играют роль ограничителей движения в пространстве. И вот перед нами оживает изображение, и нам кажется, что мы управляем автомобилем так, как мы это делаем в реальной жизни, но по неестественной мультипликационной дороге и окружающему пространству. Эта технология называется «виртуальной реальностью».

Часто после подобных экспериментов говорят: «Это было так, как будто я действительно был там».

В настоящее время еще не выяснено точно, каково будущее виртуальной реальности. Важно понимать, что здесь речь идет о нас, о людях, и о том, что мы сами создаем. При этом «виртуальная реальность» — это не зеркало мира, а нечто добавленное к нашему миру.

Раньше человек мог, причем достаточно легко, попасть в мир возможных миров. Например, погружаясь в созерцание картины, кинофильма или просто увлеченно поглощая книгу. Однако во всех подобных случаях его активность была ограничена позицией зрителя, читателя или слушателя, он сам не мог включиться в действие как активный персонаж. Виртуальные системы предоставляют новые возможности: самому включиться в действие, причем часто не только в условных пространстве и мире, но и как бы во вполне реальных, во всяком случае, с точки зрения восприятия человека.

Развитие техники программирования, быстрый рост полупроводниковых микросхем, разработка специальных средств передачи информации человеку, а также обратной связи (надеваемых на голову стереоскопических дисплеев — «видеофонов» и «дейта-глав», и «дейта-сьют», то есть перчаток и костюма, в которые встроены датчики, передающие на компьютер информацию о движениях пользователя) — все это создало новое качество восприятия и переживаний, осознанных как виртуальные реальности.

Внешний эффект состоял в том, что человек попадал в мир или весьма похожий на настоящий, или предварительно задуманный, сценированный программистом (например, попадал на Марс, участвовал в космических путешествиях или космических войнах), или, наконец, получал новые возможности в плане мышления и поведения. Наиболее впечатляющим достижением новой информационной технологии, безусловно, является возможность для человека, попавшего в виртуальный мир, не только наблюдать и переживать, но и действовать самостоятельно. Это, судя по всему, и предопределило бум потребностей на новые информационные технологии и соответственно быстрое развитие их.

Какова же природа виртуальных реальностей? Прежде всего, будем иметь в виду два обстоятельства.

1. Человек активен в виртуальном мире.

2. Виртуальная реальность является компьютерной реальностью. Виртуальные реальности создаются на основе компьютерных технологий и специальной техники.

Тогда хорошим определением виртуальной реальности можно считать следующее: «Термин "виртуальная реальность" (ВР) ныне используется для обозначения реальности, создаваемой с помощью компьютерных устройств, применяемых для обучения или для выработки требуемых от человека в тех или иных заданных ситуациях реакций».

Действительно, виртуальная реальность — это один из видов реальностей, но это такой специфический вид реальностей, который создается на основе компьютерной и иной техники, а также реализует принципы обратной связи, позволяющие человеку достаточно эффективно действовать в мире виртуальной реальности.

Но исчерпывает ли виртуальная реальность всю компьютерную реальность? Чтобы понять это, необходимо развести события, создаваемые компьютером, и собственно виртуальную реальность.

Рассмотрим такой пример[45]. Оказалось, что компьютерные технологии могут принести человеку некоторую истину, но особого рода. Речь идет о наличии 10-й планеты, как одном из чудес современной науки. Согласно прежним наблюдениям считалось, что в Сол-

---

[45] См.: Влияние Интернета на сознание и структуру знания. М., 2004.

нечной системе 9 планет, но сравнение компьютерных расчетов орбит и реальных результатов наблюдений выявило противоречие, которое разрешимо, если предположить существование 10-й планеты. В реальном мире 10-я планета не обнаружена, но в мнимой Солнечной системе внутри компьютера эта планета истинна и имеет вес, размер и орбиту. Ряд авторов трактует это открытие как наступление эпохи, когда мнимый мир представляет истину, вышедшую за рамки мира реального. Вместе с тем из анализа технологии этого открытия следует, что в данном случае 10-я планета как событие существует не в виртуальной реальности, а в реальности, моделируемой с помощью компьютера. Ею является система уравнений, описывающих движение планет нашей Солнечной системы, и ее вовсе не обязательно визуализировать или переводить в какой-то особый мир, куда может попасть человек.

С точки зрения виртуальной реальности интерес представляют не просто события, создаваемые в компьютере (10-я планета как результат компьютерных вычислений), а возможность с помощью компьютера и специальной техники создавать мир, события которого весьма напоминают события обычного или выдуманного мира, или же события, представляющие собой воплощение каких-то идей — научных, эзотерических, художественных. Другими словами, в отличие от «компьютерной реальности», виртуальные обязательно предполагают участие человека.

Собственно, события виртуальной реальности — это события, данные сознанию человека, находящегося в виртуальной реальности (назовем его «виртуальным свидетелем» или «виртуальным пользователем»). Виртуальный свидетель не только видит, слышит или ощущает то, что запрограммировано создателем виртуальной реальности, но и действует, причем его поведение является естественным ответом на события виртуальной реальности. В свою очередь, события виртуальной реальности естественно «отвечают» на поведение виртуального наблюдателя.

В отличие от компьютерной реальности, которая может существовать, например, в форме знания, виртуальная реальность — это реальность чувственная, жизненная, средовая, реальность и события «здесь и сейчас». Эта реальность, подобно обычным реальностям, может быть обжита (лучше или хуже), казаться более или менее естественной, выглядеть обычной или странной. Развитие виртуальных миров находится во многом в соответствии с желаниями человека. Важно различать компьютерную реальность, собственно виртуальную реальность и виртуальные состояния человека, находящегося внутри виртуальной реальности, т. е. состояния виртуального пользователя.

Одним из видов виртуальной реальности является Интернет[46]. Любой сайт или Интернет-страница — это организация коммуникации, текстов, информации, событий, причем организация семиотическая: с помощью знаков, схем, символов, ссылок и переходов, то есть операций со знаками. Вместо себя и событий мы посылаем в Интернет условные персонажи, тексты, схемы, изображения. Мы вынуждены замещать, выражать, представлять содержание ситуации, события в знаках, символах, схемах. В результате получаем возможность преодолевать пространства и границы, общаться и действовать, не покидая стола с компьютером.

Некоторые ученые говорят, что Интернет как семиотическая система мало чем отличается от книги или, скажем, кино. Но Интернет — это виртуальная система. Он открывает совершенно новые возможности в плане реальности и событийности. Например, вспомним влияние Интернета на развития науки. Только теперь, с созданием Сети, создаются реальные возможности (благодаря виртуальной сети) организации работы многих междисциплинарных и мультидисциплинарных научных коллективов.

На границе второго тысячелетия люди создали новую среду, информационное пространство. Впервые образы, сюжеты ментального пространства физически отделяются от материального субстрата, которым является мозг человека, обретая новый материальный носитель в форме элементной базы

[46] См.: *Громов Г.Р.* От гиперкниги к гипермозгу. М., 2004.

различных компьютерных сетей. Спецификой нового информационного пространства является делокализация информационных массивов. Виртуальные образы, создания, программы существуют в Сети относительно независимо от человека. В отличие от печатной продукции электронные издания обладают способностью самоорганизации за счет специальных программ (называемых интеллектуальными агентами), которые способны автоматически осуществлять поиск информации, генерацию связных текстов из найденных информационных массивов. Специфика новой информационной среды позволяет создавать гипертекстовую структуру представления информации. Гипертексты, усиленные интеллектуальными агентами, при наличии делокализации глобальной Сети позволяют реализовать активный процесс чтения (и написания) текста.

Современные компьютеры уже в наши дни могут с помощью специальных программ реализовать на экране дисплея почти любой фантастический мир во всей его красочности и динамике. Виртуальный пользователь, сидящий в шлеме виртуальной реальности, выполняющий работу на тренажере, имитирующем систему управления самолета, совершенно реально воспринимает объективно не зависящую от него виртуальную компьютерную реальность, разработанную и регулируемую экспертами и программистами.

Пользователь, помещенный в костюм виртуальной реальности, может осуществлять реальную деятельность в виртуальном мире. В виртуальных мирах включается совершенно новая степень свободы, которая и придает всей виртуалистике ее совершенно специфическую жизненность, которой нет даже у телевидения и кино. Она становится поистине стихией свободного становления, которая управляется в это время только законами свободного творчества. Тем самым человеку обеспечивается некоторый новый прорыв к свободе. Человек, входя в новый для него виртуальный мир, готов к тому, что законы этого мира, основания, на которых строятся взаимоотношения, даже сама логика могут быть отличны от его собственных.

При рассмотрении вопроса выделяют три аспекта в рассмотрении виртуальной реальности[47]:

- как технологии;
- как восприятия виртуального пользователя;
- как содержания.

Феномен виртуальной реальности, рассматриваемый как технология, реален. Действительно, среда виртуальной реальности создается реально существующим оборудованием и влияние этой технологии проявляется независимо от наших предубеждений.

При этом важно ясно осознавать следующий очевидный факт: то, что объект является изображением вымысла, не отрицает реальности самого объекта. Это касается и электронных объектов. При этом, конечно, нельзя не заметить, что интерес виртуальных объектов заключается и в них самих, а не только в том, что они изображают. Дисплеи виртуальной реальности отображают информацию в визуальной или доступной тактильному распознаванию формах. Эта информация либо с помощью преобразователей передается из внешнего мира, либо приходит от внутренних процессов системы, отображает состояния внутреннего электронного объекта.

Виртуальная реальность являет собой качественно новое явление, так как она связана с созданием принципиально новых — электронных объектов, а в этом процессе задействованы технологии микроэлектроники, разработанные не так уж давно. Эти объекты абсолютно реальны, они являются физическими объектами, объектами, которые связаны с электрическим и магнитным состояниями вычислительной системы.

Каждый электронный объект состоит из физических элементов, имеет казуальные возможности, существует во времени, может изменять свои качества и т. д. Но это объекты совершенно нового вида. Они лишены фиксированной протяженности в пространстве, если у них и есть форма и размер, то они постоянно изменяются по мере того, как под существование этих объектов выде-

---

[47] См.: Концепция виртуальных миров и научное познание. СПб., 2000.

ляются различные области дискового пространства и различные микрочипы, и все зависит от того, какая область физической памяти отведена под них на данный момент.

Важно то, что, будучи или моделью вымышленных вещей, или качественно новым электронным объектом, элементы виртуальной реальности являются реальными. Реальность этих объектов ведет к заключению о реальности содержания виртуальной реальности.

Нельзя не заметить, что при исследовании виртуальной реальности с позиции «насколько она реальна» с точки зрения содержания виртуальной реальности лучше применять более тонкий подход, чем физическое расположение файла на диске. Реальным (материальным) объектом следует считать физический носитель информации, а сама информация имеет иную природу.

Рассмотрим виртуальную реальность как восприятие виртуального пользователя.

Объект, будучи воспринят наблюдателем, приобретает статус реального — как реально существующего для данного наблюдателя. Возможность ответа на вопрос: относится ли эта реальность к естественному миру или к миру, искусственно созданному, определяется наличием у наблюдателя определенного набора сенсорных средств и соответствующих теоретических моделей.

Несмотря на похожесть, даже натуральность некоторых имитационных виртуальных реальностей, виртуальный пользователь все же понимает, что события виртуальной реальности разворачиваются только внутри его сознания, что их нет для других людей или в физическом смысле. За счет этого обеспечивается чувство безопасности, происходит дистанцирование от событий виртуальной реальности. Но это свойство роднит виртуальные реальности с другими символическими реальностями.

Как правило, виртуальный свидетель знает «правила игры», характер ожидаемых событий и переживаний, времен*ы*е режимы пребывания в виртуальных реальностях. По сути, виртуальный свидетель готов и к неожиданностям, которые он может встретить, поскольку знает, что может действовать сам и что среда виртуального мира будет как-то реагировать на его действия. Другими словами, он воспринимает виртуальную реальность как самостоятельный мир, самостоятельную реальность. Но, кроме того, виртуальная реальность для него — это реальность среди других реальностей, то есть она занимает определенное место в иерархии ценностей современной культуры и личности, а также по отношению к другим символическим реальностям. При этом мы имеем в виду две основных: «существования-несуществования (условности)» и «места». Действительно, с одной стороны, мы оцениваем виртуальные реальности, говоря, что они «виртуальные», то есть существуют только для сознания виртуального пользователя, а не в физическом смысле, как, например, явления природы. С другой — мы можем определить место виртуальных реальностей, например, среди символических, сказав, что это один из видов символических реальностей, отчасти напоминающих художественные реальности, отчасти реальности сновидений.

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что существование виртуальных реальностей можно охарактеризовать как один из видов психических реальностей. Как вид психических реальностей виртуальные реальности создаются самим человеком, на основе его виртуального опыта, причем организация этого опыта демонстрируется особым текстом, который создается в рамках ВР-технологий. В этом смысле виртуальные реальности расположены в категориальном пространстве «существование-реальность-условность».

Наконец, рассмотрим третий аспект виртуальной реальности: с точки зрения ее содержания. Является ли «содержание» виртуальной реальности реальным?

Перспективным является подход к проблеме реальности виртуальной реальности с точки зрения трактовки ее как семиотической реальности. Содержание ее реально в качестве смысла, подобно тому как книга реальна не просто как физический материальный объект, а как осмысленная совокупность знаков, и смысл этот не имеет материального существования. Вместе с тем развиваются и другие направления исследования.

Идея реальности содержания может быть выражена следующей фразой: некоторый виртуальный X не является, он представляет собой другое, новое явление Y, но при этом он реален. Как пояснение достаточно рассмотреть виртуальную грозу или виртуальный дом. Эти явления не являются настоящими, но при этом их реальность не отрицается.

Рассмотрим электронные объекты, артефакты, целиком принадлежащие виртуальной среде, и характер их реальности. Как правило, эти объекты лучше не связывать напрямую с феноменами внешней реальности.

Если забыть о том, что они изображают привычную нам реальность, то можно в них увидеть обычные, не виртуальные внешние объекты определенного рода. Конечно, их, как и микробы и удаленные звезды, можно наблюдать лишь при помощи специальных средств. И конечно, производство и особенности этих объектов, так же как и других результатов человеческого труда (машин, ручек, кофейных чашек), целиком зависят от нас. Но от этого они никак не теряют своей реальности.

Как примеры самостоятельных электронных объектов можно привести некоторые сущности из видеоигр, а также целый набор информационных объектов. Можно понимать электронный текст, особенно гипертекст, как изображение «настоящей» книги, но все же не очевидно, что это лучшая интерпретация. Гипертекст не пытается воспроизвести черты бумажной книги. Он, скорее, пытается в своей отличительной манере воспроизвести ее содержание. Таким образом, толстый том и гипертекстовый файл представляют собой два различных способа фиксации текста.

Необходимо заметить, что лучше всего понимать печатную книгу и гипертекстовый файл как самостоятельные объекы. Они могут претерпевать изменения. Печатная книга может потерять страницы, на ее полях могут появиться надписи. Гипертекст может быть сходным образом откомментирован и даже отредактирован. Таким образом, при фиксации текста не просто создается новый объект, приобретающий некую абстрактную ценность, такой как книжный том или компьютерный диск. Речь идет о создании самостоятельных объектов, способных претерпевать и переживать свои изменения.

Другим примером самостоятельного электронного объекта может служить база данных, особенно многомерная. Такую сущность практически невозможно создать вне компьютерной среды. Или же возьмем произведения искусства. С помощью компьютерных средств (возможно, при вмешательстве пользователя) можно создать произведения искусства, которые невозможно сделать из дерева, бумаги, металла и красок. Эти предметы будут не просто изображать элементы внешнего мира, они, скорее всего, являются такими самостоятельными внутренними элементами системы, которые вполне можно наблюдать и изменять.

Таким образом, есть все основания полагать, что объекты виртуального мира обладают статусом реальности.

Глава 6

ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ

В данном разделе акцентируются пять основных проблем информатики.

1. Выявление ключевых свойств и характеристик информации.

2. Определение этапов развития теории информации.

3. Преимущества понимания информации как процесса.

4. Проблема ценности информации.

5. Методологические основания современного подхода к исследованию информационных взаимодействий.

Информатика занимается построением информационных (прежде всего информационно-технических) объектов, системным анализом, проектированием и реализацией алгоритмов, программ и планов, а также процессами трансформации и передачи информации. Рассмотрим решение обозначенных проблем в контексте становления теории информации.

Характеристики и свойства информации

Возникновение теории информации связывают с именем американского ученого Клода Шеннона, предложившего строгий способ измерения **количества информации** (**I**). Техническое усовершенствование передачи сообщений потребовало создания математической теории связи, разработкой основных проблем которой занимался К. Шеннон. Он рассуждал следующим образом. Отправитель может выбрать любое сообщение. Случайность выбора создает платформу для статистической оценки количества информации и выбора единицы ее измерения. Введем эту единицу. Если случайный выбор совершается один раз между вариантами, имеющими разную вероятность $\mathbf{P_1}$,$\mathbf{P_2}$, ..., $\mathbf{P_M}$, то общее количество информации равно

$$\boldsymbol{I} = -\sum_{i=1}^{M} \boldsymbol{P}_i \, log_2 \boldsymbol{P}_i. \qquad (1.1)$$

Знак «–» отвечает условию $\boldsymbol{I} > 0$, ибо $log_2 \boldsymbol{P}_i \leqslant 0$, ведь $\boldsymbol{P}_i \leqslant 1$.

Формула (1.1) была получена Клодом Шенноном[1], вычислившим количество информации, которое передают сигналы, отвечающие буквам алфавита, по каналу связи с учетом различной вероятности появлений букв в словах (здесь **M** — число букв алфавита) в расчете на одну букву. Если сообщение содержит **N** букв, то количество информации

$$\boldsymbol{I} = -\sum_{i=1}^{M} \boldsymbol{N} \, \boldsymbol{P}_i \, log_2 \boldsymbol{P}_i. \qquad (1.2)$$

Если все вероятности одинаковы, то $\boldsymbol{NP}_i = 1$, следовательно, $\boldsymbol{P}_i = 1/\boldsymbol{N}$. В этом случае количество информации

$$\boldsymbol{I} = log_2 \boldsymbol{N}.$$

Минимальное количество информации отвечает случаю, когда $N=2$. Это выбор, например, «орел-решка» при подбрасывании монеты. При этом

$$\boldsymbol{I} = log_2 \boldsymbol{N} = log_2 2 = 1,$$

что соответствует единице количества информации, которую назвали — бит (binary digits). Двоичная

[1] См.: *Шеннон К.* Математическая теория связи // Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. С. 243–332.

система широко применяется в технике, так как оперирование всего лишь двумя возможностями, скажем включением и выключением какого-нибудь элемента, очень упрощает расчеты.

Решение множества технических задач одновременно обозначило одну философско-методологическую проблему: соотношение количества информации (***I***) и энтропии (***S***). Людвиг Больцман был первым ученым, обратившим внимание на связь этих величин. Говоря о необратимом увеличении энтропии идеального газа при его изотермическом расширении в пустоту (за 50 лет до формулы Шеннона), он заметил, что этот процесс сопровождается потерей информации о местонахождении (в общем случае — о состояниях) молекул. Эта идея получила дальнейшее развитие после работ по математической теории связи, выполненных сотрудниками лаборатории фирмы AT&T Bell Telephones. Оказалось возможным использовать формулу (1.1) для подсчета количества информации о состояниях молекул, если принять, что $\boldsymbol{P_i}$ есть вероятность нахождения молекулы в ее i-м состоянии. Если учесть, что по Больцману энтропия, приходящаяся на одну молекулу, равна

$$\boldsymbol{S} = -\boldsymbol{k} \sum_{i=1}^{M} \boldsymbol{P}_i \ln \boldsymbol{P}_i, \qquad (1.3)$$

где $\boldsymbol{k}$ — постоянная Больцмана, $\boldsymbol{M}$ — число состояний молекул, то эквивалентность между увеличением термодинамической энтропии, происходящем при совершении некоторого процесса, и потерей информации о молекулах кажется очевидной. Начиная с работ по классической теории информации, установилась традиция связывать информацию с термодинамической величиной — энтропией. Начало этой традиции было положено Норбертом Винером, увидевшем действительно бросавшееся в глаза сходство статистических формул К. Шеннона (1.1) для количества информации (***I***) и Л. Больцмана (1.3) для физической энтропии (***S***). Различие в размерностях устранялось выбором единиц измерения ***I***, которую можно выражать в энтропийных единицах. По Винеру,

$$\boldsymbol{I} = -\,\boldsymbol{S}. \tag{1.4}$$

Отрицательную энтропию стали называть негэнтропией. Был сформулирован закон сохранения I + S = const как следствие негэнтропийного принципа, что само по себе изменяет содержание второго начала термодинамики. Обсуждение вопроса о связи информации и энтропии требует методологической корректности, поскольку «применять энтропийный-негэнтропийный язык для анализа мира нестационарных нелинейных процессов означает практически то же самое, что идти в микромир с песочными часами и рулеткой»[2].

Во-первых, следует помнить, что в замечании Л. Больцмана о том, что при возрастании энтропии мы теряем информацию о состоянии системы, утверждается, что информацию теряем «мы», а не система (о чем речь у Н. Винера). Леон Бриллюэн, вводя в оборот термин «негэнтропия», исследовал так называемую *связанную* информацию; в отечественной же литературе принят термин «микроинформация». Ее примером является выбор определенного набора координат и скоростей молекул идеального газа. Этот выбор существует в течение долей пикосекунды, а далее «забывается». Микроинформация ($\mathbf{I}_{\mathrm{micro}}$) действительно связана с физической энтропией:

$$\boldsymbol{I}_{micro} = -\,1{,}44\triangle S/\,k, \tag{1.5}$$

где k есть постоянная Больцмана, $\triangle S$ — убыль энтропии системы, а коэффициент 1,44 компенсирует различие в основаниях логарифмов в (1.1) и (1.3). Эта связь основана на том, что понятие физической энтропии имеет смысл только тогда, когда система эргодична, то есть быстро забывает о своем предыдущем моментальном состоянии и с равной вероятностью пребывает во всех возможных состояниях. Информацию, которую

[2] *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Основания синергетики. Режимы с обострением, самоорганизация, темпомиры. СПб.: Алетейя, 2002. С. 23.

система способна запомнить (хранить), называют *макроинформацией* (I_{macro}). Именно она интересует информатику, и именно с ней мы имеем дело в реальности.

Во-вторых, обнаруживается соответствие между количеством информации (I_{macro}) и *изменением* энтропии, но отнюдь не количественная связь. Одна и та же по количеству информация может отвечать разным изменениям энтропии. Подбрасывая монету в игре «орел-решка» и получая один бит информации, мы измерим различное изменение энтропии монеты в зависимости от ее массы и упругих свойств. Поток транспорта на магистрали прерывается при получении водителями одного бита информации — замена красного сигнала на зеленый. Изменение энтропии при этом может быть совершенно различным в зависимости от числа машин в потоке. При этом последствия получения информации несоизмеримо велики по сравнению с ее количеством.

Теория информации Клода Шеннона была обобщена выдающимся математиком А.Н. Колмогоровым. Он придал расширительный математический смысл шенновской трактовке энтропии. Было предложено определение внутреннего количества информации в сообщении. Сложностью сообщения, по Колмогорову, называется минимальная плата по всевозможным методам шифровки сообщения. Математическая теория связи очень обширна, но одна характеристика — количество информации — не передает всей специфики феномена информации. «Очень редко, — писал Шеннон, — удается открыть одновременно несколько тайн природы одним и тем же ключом. Здание нашего несколько искусственно созданного благополучия слишком легко может рухнуть, как только в один прекрасный день окажется, что при помощи нескольких магических слов, таких как информация, энтропия, избыточность... нельзя решить всех нерешенных проблем»[3]. Какие же еще «магические слова» требуются для раскрытия тайны феномена информации? Мы полагаем, что это такие ха-

---

[3] *Шеннон К.Е.* Бандвагон // Работы по теории информации и кибернетике. С. 667.

рактеристики информации, как *ценность, эффективность и качество.*

Математическая теория информации полностью игнорирует содержание информации. Поэтому вопрос о **ценности** не ставился. Рассчитывая пропускную способность канала связи, бессмысленно принимать во внимание содержание телеграмм. Вопрос о ценности возникает, прежде всего, в биологии. Биологическая эволюция необратима и направлена. Исходный материал для эволюции – случайные мутации генов — не имеют заданной направленности, тем не менее работает мощный направляющий фактор — естественный отбор, основанный на повышении **ценности информации**, трансформированной в итоге мутации. Таким образом, для биологии существенна не столько количественная, сколько ценностная характеристика информации. На это одним из первых обратил внимание И. Шмальгаузен[4] .

Информация может быть более или менее ценной в зависимости от преследуемой цели, происхождение которой до недавнего времени в теории информации не обсуждалось. Ценной информацией считается та, которая помогает достижению цели.

Следует обратить внимание на следующее различие оценок «количество» и «ценность». Количество информации в сообщениях: «информация» и «аяиинфрмцо» — одинаково, но если первое имеет смысл, то второе его лишено и воспринято быть не может. Таким образом, определенные элементы сообщений совершенно неправомерно отождествлять с информацией как таковой. Эти элементы связаны лишь закономерностями передачи по каналам связи различных сигналов, но никак не связаны с семантикой сообщения.

В отличие от шенноновского определения количества информации, передаваемой по каналам связи, ценность проявляется в результатах рецепции. Следующий наглядный пример приводил Ю.А. Шрейдер. Имеется том 2 «Курса высшей математики» В.И. Смир-

[4] См.: *Шмальгаузен И.И.* Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск: Наука, 1968. 223 с.

нова. Эта книга содержит богатую информацию. Какова ее ценность? В ответ приходится спросить — для кого? Для дошкольника ценность этой информации нулевая, так как он не обладает достаточной подготовкой, достаточным уровнем рецепции и не в состоянии эту информацию воспринять. Для профессора математики ценность тоже нулевая, так как он все это хорошо знает. Максимальной ценностью эта информация обладает для студентов того курса, которым книга предназначена, — поскольку речь идет об очень хорошем учебнике. Зависимость ценности от уровня подготовки, от предшествующего запаса информации — тезауруса — проходит через максимум[5]. Это иллюстрируется соответствующим графиком на рис. 1.

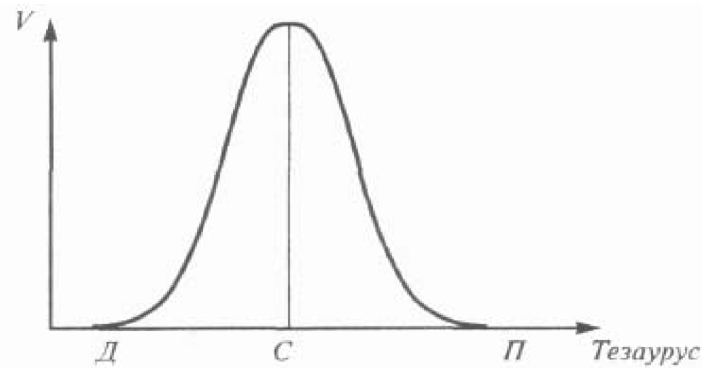


Рис. 1. Зависимость ценности информации от тезауруса: *Д* – дошкольник, *С* – студент, *П* – профессор

Известны несколько способов количественного определения ценности. Все они основаны на представлении о цели, достижению которой способствует полученная рецептором информация. Чем в большей мере информация помогает достижению цели, тем более ценной она считается. Если цель наверняка достижима и притом несколькими путями, то возможно определение ценности (**V**) по уменьшению материальных

[5] См.: *Шрейдер Ю.А.* Семиотические основы информатики. 2-е изд. М.: Изд-во ИПКИР, 1975. 80 с.

или временных затрат, благодаря использованию информации. Так, например, сочетание хороших предметного и алфавитного каталогов библиотеки, наличие библиографических справочников сокращают время на составление списка литературы по конкретному интересующему нас вопросу. Если достижение цели не обязательно, но вероятно, то используется один из следующих критериев.

Мерой ценности, предложенной М.М. Бонгартом и А.А. Харкевичем, является

$$\boldsymbol{V} = log_2\ (\boldsymbol{P}/\boldsymbol{p}), \tag{1.6}$$

где $\boldsymbol{p}$ — вероятность достижения цели до получения информации, а $\boldsymbol{P}$ — после; учитывая, что $\boldsymbol{p}$ и $\boldsymbol{P}$ могут изменяться от 0 до 1, заключим, что пределы изменения $\boldsymbol{V}$ — от $-\infty$ до $+\infty$.

Очевидно, величину $\boldsymbol{V}$ для некоторой информации невозможно задать одним-единственным числом. Определенное значение ценности можно получить только лишь для известной пары источник — рецептор (например, учебник — студент).

Ценность информации, получаемой рецептором, зависит от ее количества $\boldsymbol{I}$. Так, если целью изучения учебника является овладение методом решения определенного цикла задач, то прочтение двух-трех параграфов в лучшем случае обеспечит решение лишь малой доли задач. С ростом количества информации увеличивается величина $\boldsymbol{V}$.

В области малых значений $\boldsymbol{I}$ скорость увеличения $\boldsymbol{V}$ мала по изложенным выше соображениям, но и в области больших $\boldsymbol{I}$ темп роста уменьшается, поскольку, начиная с некоторых значений $\boldsymbol{I}$, дальнейший рост этой величины уже не влияет на успех решения задач из цикла: любая задача может быть решена. Это значит, что кривая $\boldsymbol{V} = f(\boldsymbol{I})$ для данной пары источник — рецептор имеет вид кривой с насыщением (рис. 2).

По ходу кривой изменяется приращение ценности, приходящейся на единичный интервал $\boldsymbol{I}$. Это позволяет ввести еще одну характеристику — **эффективность информации** — ε.

В работе[6] за эффективность принято отношение

$$\varepsilon = d\mathbf{V} / d\mathbf{I} . \qquad (1.7)$$

Другими словами, эффективность информации равна производной функции $V = V(I)$ для каждого заданного значения I.

Легко видеть, что зависимость $\varepsilon = f(I)$ представляет собой кривую с максимумом, причем только с одним (рис. 1.3). Площадь под кривой $\varepsilon = f(I)$ и осью абсцисс называют «информационным полем».

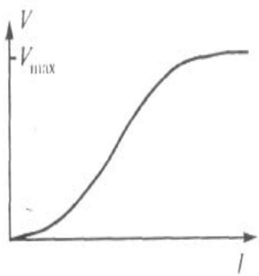


Рис. 2. Зависимость ценности информации от ее количества

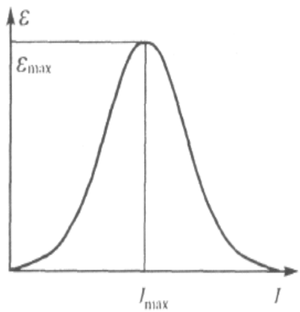


Рис. 3. Вид зависимости эффективности информации (ε) от ее количества ($\mathbf{I}$): $\mathbf{I}_{\mathbf{max}}$ — оптимальное количество информации, ε_{max} — максимальное значение ее эффективности

Заметим, что характеристики ценности и эффективности информации предполагают ясность в трактовке понятия «цель». Для биологических и социальных систем этот вопрос более или менее был ясен, но какую цель может иметь, например, электрон? Долгое

[6] См.: *Мелик-Гайказян И.В.* Информационные процессы и реальность. М.: Наука, Физматлит, 1998. С. 20–26.

время это оставалось проблемой, возможное разрешение которой мы обсудим позднее.

Понятие о **качестве информации** связано с существованием иерархической структуры информационных систем. В связи с этим приведем определение Генри Кастлера: информация есть случайный запомненный выбор варианта из многих возможных и равноправных[7]. Проиллюстрируем данное определение информации и такую ее характеристику, как качество, выбором пути при разветвлениях дороги. Так, идя по дороге и встретив разветвление $Б_1$, путешественник выбрал одну из дорог (или верхнюю ветвь бифуркационной диаграммы на рис. 4). Допустим, что этот выбор случайно оказался удачным, но в пункте $Б_2$ он встречает еще одно разветвление, снова оказываясь перед выбором. Это разветвление имеется только на уже выбранном ранее направлении, то есть этот новый выбор совершается на основе прежнего, причем прежний не предрешает последующего. Поэтому, несмотря на связь выборов, необходимо различать их уровни, то есть уровни генерируемой информации. Выбор $Б_1$ является общим для второго и третьего. Рецепция и генерация в пунктах $Б_2$ и $Б_3$ невозможна без генерации (рецепции) в пункте $Б_1$. Отсюда появляется возможность говорить об уровнях информации. Примером последовательных выборов системой пути своего развития является бифуркационная кривая (рис. 4). В точке $Б_1$ система совершает выбор между ветвями $Б_1В_1$ и $Б_1Г_1$; если выбор сделан в пользу $Б_1В_1$, то в точке $Б_2$ система снова оказывается перед выбором: ветвь $Б_2В_2$ или ветвь $Б_2Г_2$. Очевидно, только предыдущий выбор ветви $Б_1В_1$ делает актуальным этот второй, затем третий и т. д. выборы, как и в предыдущем примере. Ни один из последующих выборов не предрешается предыдущим. Отсюда необходимость различать уровни генерируемой информации, каждый из которых отвечает определенному **качеству**. Эта разнокачественность обеспечивает иерархическую структуру.

---

[7] См.: *Кастлер Г.* Возникновение биологической организации. М.: Мир, 1967.

Информации на уровнях не только качественно различаются, образуя ряд подмножеств, но и связаны друг с другом, ведь для информации более высокого уровня совершенно необходима информация предшествующего нижнего уровня. Так, перед человеком, не выучившимся ни читать, ни писать, не может возникнуть проблема осознанного выбора высшего учебного заведения. Мы уже упоминали специальный термин «тезаурус»[8], который означает информацию нижнего уровня, которая необходима для генерации или рецепции информации на верхнем уровне, качественно отличающемся от нижнего. Выбор варианта делается не между вариантами разных уровней, а всегда на одном уровне. Это заложено в определении Г. Кастлера: выбор одного варианта среди нескольких возможных и равноправных. «Равноправные» варианты — это варианты одного *качества*, т. е. одного иерархического уровня.

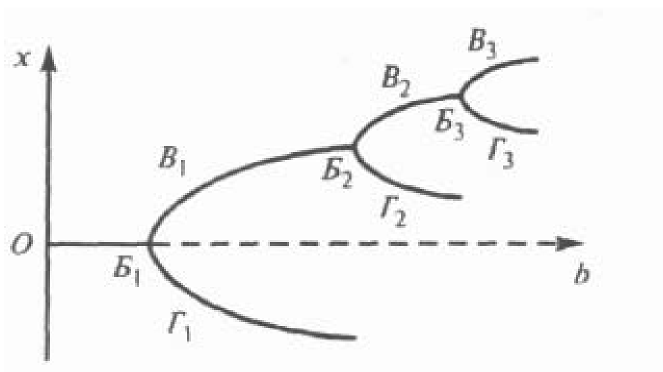


Рис. 4. Бифуркационная диаграмма. По оси абсцисс — параметр состояния системы, по оси ординат — значения переменной *x*, описываемой нелинейным уравнением — моделью самоорганизующейся системы

---

[8] Thesaurus — по-латыни значит сокровище, в данном контексте термин введен Ю.А. Шрейдером для обозначения смысловой информации.

Для информатики важно, что информация может быть *действенной*, способной реализовываться в алгоритмах и программах, и *фиксируемой*, запоминаемой.

Информация обладает такими **свойствами**, как *действенность* и *фиксируемость*. На рис. 5 схематично представлены «ключевые» и «дочерние» свойства информации.

Представим себе, что путешественник, избрав, полагаясь на счастливый случай, путь, ведущий к пункту назначения, вернулся к развилке и зафиксировал с помощью указателя верный выбор. «Новые поколения» путешественников будут использовать информацию об эффективном попадании в нужный пункт как алгоритм, как программу своих дальнейших действий — технологию дорожных знаков. Механизм целенаправленных действий, в котором информация выступает как программа, инструкция, называют оператором[9]. Этот механизм реализуют, в частности, компьютеры, являющиеся техническим средством обработки данных. Работа оператора непосредственно связана со свойством информации — действенностью. Итак, оператор реализует действенность закодировавшей его информации, специфика которой проявляется в семантике.

О тех или иных свойствах информации говорится во многих работах[10]. Наиболее полно перечень свойств информации, их классификация, определения, связь друг с другом впервые рассмотрены в книге В.И. Корогодина[11] на примерах биологических систем различ-

---

[9] См.: *Эйген М., Винклер Р.* Игра жизни / Пер. с нем. М.: Наука, 1979. С. 12; *Iantsch E.* The self-organizing Universe: Scientific and human implications of emerging paradigm of evolution. Oxford ets.: Pergamon press, 1980. P. 99–102.

[10] Например: *Волькенштейн М.В., Чернавский Д.С.* Физические аспекты применения теории информации в биологии // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1979. Т. 32. № 4. С. 531; *Романовский Н.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С.* Математическая биофизика. М.: Наука, 1984. 304 с.; *Эйген М.* Молекулярная самоорганизация и ранние стадии эволюции // Успехи физических наук. Т. 109. Вып. 2. 1973. С. 545–590; *Эйген М., Винклер Р.* Игра жизни / Пер. с нем. М.: Наука, 1979. 94 с.

[11] См.: *Корогодин В.И.* Информация и феномен жизни. Пущино: АН СССР, 1991. 200 с.

ной сложности. Обратимся к свойствам некоторой абстрактной информации.

Фиксируемостью называется та особенность любой информации, что, не будучи материей, она может, как мы уже обсуждали выше, восприниматься только в зафиксированном состоянии. Никто, никогда, нигде не встречался с информацией, которая была бы в «свободном виде», а не в виде «записи» на том или ином физическом носителе. При этом считается, что формой фиксации информации являются предложения, составленные на том или ином языке в виде последовательности букв того или иного кода, нанесенного тем или иным способом на тот или иной физический объект. Заметим, что это представление о фиксации информации хорошо согласуется с представлением о ней как о некоторой программе, но исключает случай рецепции в виде образования некоторых структур, например, в автокаталитических процессах.

Рис. 5. Классификация свойств информации (по В.И. Корогодину)

Теперь рассмотрим группу свойств информации, являющихся следствиями фиксируемости.

Инвариантность информации по отношению к носителям — это свойство, связанное с ее фиксируемостью. Инвариантность раскрывается как возможность фиксации, то есть записи информации любым кодом. Ни количество, ни семантика информации не зависят ни от избранной системы записи, ни от природы использованного носителя. Инвариантность информации как бы подчеркивает ее внутреннюю независимость от ее материальных оков, ее автономность и суверенность, которые сохраняются как бы наперекор судьбе, обрекающей информацию быть вечным узником мира вещей — ее физических носителей. Инвариантность информации обусловливает возможность осуществлять разные элементарные информационные акты — создания, приема, передачи, хранения и использования информации. Отсюда ясно, что свойство инвариантности лежит в основе возможности понимания, например, генетической информации. Расшифровка генетического кода, потребовавшая многолетних усилий биологов, физиков, химиков и математиков, является крупнейшим научным достижением XX столетия, ярко иллюстрируя значимость свойства инвариантности информации. Отметим и роль свойства *мультипликативности*, благодаря которому возможно существование одной и той же информации на разных носителях. Эти два свойства играют важную роль для процесса кодирования — подготовки сообщения (сигнала) для передачи по каналу трансляции либо в синхронном режиме, непосредственно к объекту-реципиенту, либо в блок «памяти» для длительного хранения.

Бренность — определяется тем, что зафиксированная информация связана с материальными носителями. Во всех реальных запоминающих устройствах время запоминания ограничено именно в связи с тем, что носители способны разрушаться, переходить в состояние, не связанное с рецептированной информацией, уходить из информационной системы. При этом существенное значение может иметь окружение запоминающего устройства. Так, например, если эффект запоминания связан с определенной ориентацией магнитного поля в ферромагнитных носителях, а окружение внезапно послало тепловые потоки, вызвавшие перегрев, и повысило температуру ячеек выше некоторой точки, то информация исчезнет. Бренность одной и той же, но зафиксированной на разных носителях информации может сильно различаться: носители, с которых постоянно считывается информация, могут иметь сравнительно небольшое время жизни, а используемые для ее хранения могут жить неограниченно долго. Так же долго сохраняется информация, определяющая вид некоторого растения или животного. Это происходит благодаря периодической репликации информации.

Изменчивость — свойство, связанное с бренностью. Дело в том, что исчезновение информации может происходить не только из-за разрушения, но и благодаря ее изменению, например, вследствие мутаций генов. При этом прежняя информация гибнет, рождается новая, отличающаяся от исходной. Изменения могут иметь различные механизмы, определяющиеся спецификой информационных систем. Информация способна изменяться и при ее хранении из-за повреждения носителей, и в состоянии репликации из-за ошибок репликации, которые можно назвать информационными дефектами. В этом случае репликация является фактором повышения изменчивости с последующим продлением существования уже новой информации.

Транслируемость — свойство, противостоящее бренности, а именно это возможность передачи информации с одного носителя на другой, то есть размножения информации.

При этом жизнеспособность информации $\boldsymbol{L}$ определяется отношением скоростей рождения ($\boldsymbol{U_p}$) и гибели ($\boldsymbol{U_r}$) носителей

$$\boldsymbol{L} = \boldsymbol{U}_p \,/\, \boldsymbol{U}_r \,. \qquad (1.8)$$

Если $\boldsymbol{L}>1$, число копий записи будет возрастать. При $\boldsymbol{L}<1$ — информация обречена на вымирание, при $\boldsymbol{L}=1$ — состояние нестабильно. Очевидно, ситуация при $\boldsymbol{L}>1$ отвечает проявлению свойства *размножаемости*, являющегося прямым следствием транслируемости. Следствием размножения является *мультипликативность*, то есть возможность одновременного существования *одной и той же* информации на разных носителях. Транслируемость, изменчивость и мультипликативность информации — вот те «три кита», на которых базируется динамика и эволюция любой информации.

Теперь рассмотрим свойство *действенности* информации. Действенность непосредственно связана с тем, что, будучи включенной в свою информационную систему, информация может быть использована для построения того или иного оператора, который может совершать определенные целенаправленные действия. Каждая информация способна материализоваться, воплощаясь в оператор, проявляющий действенность закодировавшей его информации.

Семантика — проявляется в специфике кодируемого информацией оператора, причем каждая данная информация однозначно определяет оператор, для построения которого она использована. Но при этом природа целенаправленного действия такова, что должна повышать вероятность воспроизведения кодирующей его информации. Именно в этом смысле семантика информации всегда представляет собой отражение тех условий, которые необходимы и достаточны для ее воспроизведения. Эволюция семантики происходит в направлении улучшения условий воспроизведения информации. Заметим, что из-за примитивности самоорганизующихся неорганических систем (по сравнению с живыми) роль семантики информации играет ее прасемантика. Прасемантика основана на функциональной упорядоченности, которая обеспечивает сохранение относительно устойчивого состояния системы.

Полипотентность — выражается в том, что оператор, закодированный данной информацией, может быть использован для осуществления различных действий. Это значит, что одна и та же информация может использоваться для решения различных задач. Значение этого свойства раскрывается в представлении о бесконечном множестве комбинаций «ситуация — цель».

Полезность информации предполагает, что она кому-нибудь нужна, может быть с «пользой» применена для некоторых целенаправленных действий. Из свойства полипотентности следует, что полезной может оказаться любая информация. Это делает оправданным «запасание» информации впрок, «про запас». Такое свойство как раз и отвечает потенциальной полезности информации. Полезность информации определяется возможностью использовать ее для достижения какой-либо цели. Это «потенциальное» свойство, ибо полезность — свойство содействовать событию, которое еще не произошло.

Истинность — свойство, которое выявляется в ходе реализации полезности. Из полипотентности информации следует относительность ее истинности, то есть зависимость от ситуации и цели. Если целью является трансляция информации (что представляет собой общий случай), то истинность оказывается условием существования информации. Получается, что жизнеспособной может быть только истинная информация. Ясно, что выявление истинности возможно только в том случае, когда информация кому-то полезна. А это значит, что для жизнеспособности информации необходимо сочетание свойств истинности и полезности, то есть гармония объективного и субъективного аспектов информации, отражаемых этими терминами.

Кибернетический и синергетический этапы теории информации

Первоначально создатели теории информации занимались прикладными задачами, комплекс которых составлял сферу кибернетики. Само понятие «кибернетика» возникло отнюдь не в XX в. Это слово было в обороте еще в эпоху античности. Однако в 1834 г. оно вошло в научный оборот благодаря великому физику Андре Мари Амперу, который использовал это слово для обозначения наук об управлении в разработанной им классификации научного знания. Подлинную популярность данное понятие приобрело после выхода в 1948 г. книги Норберта Винера «Кибернетика». Изначально управление рассматривалось как способ достигать и сохранять заданный порядок. Самоорганизация, неустойчивость, спонтанность были явлениями «недопустимыми» в управляемой системе, поведение которой должно быть предсказуемо, задано извне. Успех кибернетического подхода к управлению биологическими, техническими и экономическими системами был столь очевиден, что, казалось, задачи понимания механизмов самоорганизации сложных систем будут решены в рамках этого же подхода. Правда, элитой кибернетического сообщества предпринимались попытки, раскрыть как тайну самоорганизации, так и природу феномена информации. В 1966 г. была издана книга «Принципы самоорганизации», которая представляет собой сборник статей конференции, организованной отделом информационных систем Управления военно-морских исследований США. Начало конференции ознаменовалось обращением к термину «самоорганизация».

«Мы блуждаем в мире загадочных черных ящиков, ящиков доктора Эшби. Одни из них — черепахи, другие — горлицы, третьи — пересмешники; некоторые из них — цифровые вычислительные машины, — говорит известный английский ученый-кибернетик Гордон Паск, выясняя вопрос о том, какие из систем способны к самоорганизации. — Но, наконец, мы сталкиваемся с небольшим, но противным классом систем, которые мы, по-моему, как раз и называем "самоорганизующимися" и которые включают и вас, джентльмены. Вы, несомненно, в высшей степени случайные машины, потому что несете всякий вздор. Моя уверенность в том, что вы скажете в следующий момент, такова же, как и неуверенность, в каком положении остановится "случайное" колесо... Системы такого рода мы и будем называть самоорганизующимися»[12].

Итак, в данном высказывании была отмечена принципиальная значимость случайного в процессе самоорганизации. Оказалось, что образование структур дает серьезное преимущество коалициям элементов, каждый из которых не несет в себе самоорганизующего начала. Объединяясь, элементы приобретают новое

[12] Принципы самоорганизации. М.: Мир, 1966. С. 285.

качество. В современных книгах по синергетике обычно приводится описание поведения амебы — одноклеточного животного — как яркий и наглядный пример самоорганизации. Пример этот перекочевал от кибернетиков из доклада Паска в современные книги о самоорганизации. Амебы вырабатывают вещество акразин в моменты дефицита амебной пищи. Это позволяет им находить друг друга, образовывая структуру — организованное целое, способное перемещаться (этого не может одна особь) из «голодных» областей в «хлебные». За поведением амеб тщательно наблюдали; часть доклада, посвященная их коллективным действиям, вызвала большой интерес. Это не исключило, однако, и скептических высказываний, например, Георга Цопфа: «Я всего лишь надеюсь, что кибернетика и тот ее раздел, который касается самоорганизующихся систем, могут осветить (но не решить! — *Авт.*) одну-единственную кибернетическую проблему: проблему управления и связи внутри человека и между людьми... Я намерен рассматривать символы и черные ящики, слизи и лишайники, заводы, вычислительные устройства и ракетные системы только в надежде, что результаты такого рассмотрения приведут к тому, что меня интересует... Я испытываю соблазн приписывать большую ценность слову "нет", чем слову "да"».

Эта элегическая грусть по поводу несовершенства знаний кибернетиков о самоорганизации, оказалась более эвристичной, чем оптимизм Эшби, утверждавшего, что в «настоящее время принципы, лежащие в основе самоорганизующихся систем, известны достаточно полно». При этом, как заметил Лернер: «в области теории самоорганизующихся систем мы уже знаем, "где копать", хотя еще ни одного ценного "клада" не "выкопали"». Кибернетики нащупывали области, в которых царит самоорганизация: система магнитов, моделирующая структуру доменов, модель коры мозга по аналогии со структурой доменов, рост кристаллов из сильно переохлажденного раствора, то есть в сильно неравновесных условиях.

Для того чтобы убедиться в адекватности феномена информации миру процессов, изучаемых постнеклассической наукой, перечислим ее основные онтологические и методологические положения.

Первое. Наука прошлого столетия оперировала обратимыми (классическая механика) и необратимыми (равновесная термодинамика) процессами. Однако в природе реализуются также такие необратимые процессы, которые приводят к созданию пространственно-временных (диссипативных) структур. Такая необратимость играет существенную конструктивную роль, из нее следует различие между прошлым и будущим («стрела времени»), обусловленное не особенностями нашего описания, а самой природой вещей.

Это онтологическое положение постнеклассической науки имеет прямое отношение к процессу генерации информации, являющемуся типично необратимым, поскольку генерация — это выбор, и коль скоро он сделан, происходит событие, разделяющее прошлое и будущее. Об этом еще в начале XX в. писал известный математик и философ А.Н. Уайтхед: способность к сотворению, то есть рождению между прошлым и будущим через становление, является непреложным фундаментальным фактом. Таким образом, можно заключить, что, если бы не различие между прошлым и будущим, игнорируемое традиционной наукой, информация не могла бы возникать. Это еще раз подчеркивает: место феномена информации только в постнеклассической картине мира.

Второе. Неравновесные состояния открытых систем весьма конструктивны благодаря их способности к самоорганизации, то есть к «пороговому» локальному самоупорядочению с образованием диссипативных структур. Такое поведение — необходимый элемент процесса рецепции информации, то есть и второе концептуальное положение, как и первое, имеет отношение к информации, так как рецепция есть процесс неравновесный. Кроме того, поскольку рецепция информации означает возникновение определенной упорядоченности в воспринимающей системе, это не только неравновесная, но далекая от равновесия система. Рецепторная система, следовательно, есть система диссипативная.

Третье. Важнейшим состоянием синергетической системы является хаос, или, точнее, хаотическая динамика. «Связанная с разупорядоченностью неустойчивость движения позволяет системе непрерывно прощупывать собственное пространство состояний, создавая тем самым информацию»[13]. Нет необходимости комментировать связь информации с третьим концептуальным положением постнеклассической науки, о ней говорится в самом этом положении.

Итак, мы указали на неформальную связь понимания природы информации с идеями теории самоорганизации, представляющей собой основу постнеклассической науки. Мы представляем себе мир, интепретируемый этой наукой, как мир не только траекторий, но и процессов. Неопределенность мира, не являющегося ни автоматом, ни хаосом, не исключает значимой деятельности индивида в нем.

В рамках кибернетики были предприняты попытки создания теории самоорганизующихся технических систем без выяснения конкретных механизмов самоорганизации. Точнее, правильные догадки о такой возможности не были развиты. К синергетике впервые пришли отнюдь не кибернетики, а физико-химики и физики, изучавшие нелинейные колебания, колебательные химические реакции и стимулированное излучение лазера. Следует признать, что, несмотря на огромное практическое значение кибернетики, создать в ней единую теоретическую концепцию так и не удалось.

В отличие от этого, появление синергетики воспринимается как рождение нового объединяющего направления в науке, знаменующего новое мировоззрение, отличное от ньютоновского классицизма. В рамках синергетики удается раскрыть сущность феномена информации на основе перехода современного познания от «парадигм бытия» к «парадигме становления», созвучном философии Уайтхеда. В чем же состоят принципиальные различия кибернетического и синергетического подходов? Без претензии на исчерпываю-

---

[13] *Николис Г., Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. С. 224.

щую полноту ответа на поставленный вопрос отметим следующее.

1. *Кибернетика* изучает законы управления и связи, оперируя законами управления и информационных взаимодействий (с помощью обратных связей) на нескольких уровнях одновременно.

Синергетика имеет дело с системами самоорганизующимися, их развитие можно только направлять, при этом, согласно С.П. Курдюмову, небольшое энергетическое «воздействие-укол» в нужном пространственно-временном локусе оказывается достаточным, чтобы система перестроилась, и возник новый тип структур.

2. Несмотря на то что основным фактором кибернетических систем служит информация, и в силу этого кибернетика отвлекается от энергетического и вещественного субстратов, *кибернетические системы* действуют в рамках традиционной науки (классической и квантовой механики). В их поведении нет ничего, что не могло бы быть предсказано с помощью этих законов. Они вполне детерминистичны.

Поведение *синергетических систем* не противоречит законам традиционной науки, но не прогнозируется ими.

3. *Кибернетика* использует информацию как нечто данное. Выяснения причин и механизмов ее возникновения не входят в ее задачи.

С позиций *синергетики* для генерации информации принципиально важны хаотические состояния систем, выход из которых сопровождается созданием новой информации.

4. *Синергетика* позволяет проследить эволюцию информационной системы как эволюцию ценности и новизны созданной информации.

Кибернетика, как и математическая теория связи (традиционная теория информации), не рассматривает эволюцию ценности и новизны информации.

Мы можем сделать вывод о том, что два важнейших информационных процесса — генерация и рецепция — суть процессы синергетические. Они неравновесны, необратимы, для их реализации необходимы области хаотичности.

Итак, в эволюции теории информации можно выделить два этапа: кибернетический и синергетический. То, что обычно называют информатикой, развито на теоретических основаниях кибернетического этапа. Синергетический этап открыл возможности создания *динамической теории информации*. Эта теория открыла новые возможности решения задач проектирования информационных систем, системного анализа и моделирования процессов трансформации информации, то есть задач, входящих в «область интересов» информатики. Помимо этого, исследование рецепции на основе динамической теории информации позволило создать новое направление информатики — нейрокомпьютинг. Успехи информатики обозначили и круг проблем, носящих методологический характер. Прежде всего к ним относятся проблемы выявления цели информационных процессов и роли информации в процессах самоорганизации. Эти проблемы мы обсудим в следующем разделе, а пока обобщим все выше сказанное и предложим *свой*[14] вариант упорядочения коллекции определений понятия «информация».

Логической основой современного научного мышления является переход от фундаментализма к полифундаментальности (многомерности) в категориальном строе и способе мышления, в его методологическом и мировоззренческом базисе. В изучении многомерного мира одним из ведущих принципов является принцип дополнительности, согласно которому существует связь между альтернативными описаниями одного и того же сложного объекта. Каждое из определений не охватывает полноты сущностных характе-

---

[14] Подробно эта коллекция дана в монографии, на которую мы уже ссылались (*Мелик-Гайказян И.В., Мелик-Гайказян М.В., Тарасенко В.Ф.* Методология моделирования нелинейной динамики сложных систем. М.: Физматлит, 2001. С. 86 – 123), хотя ее же можно встретить и в книгах Чернавского Д.С. (например: Синергетика и информация: динамическая теория информации. М.: Наука, Физматлит, 2001). Это лишний раз подтверждает необходимость философско-методологических работ для развития конкретно-научных исследований в области теории информации.

ристик объекта как целого, но дополняет другие. Таким образом, если различные определения одного и того же явления не содержат ошибок, они позволяют соединить его альтернативные модели для охвата всей многомерной реальности. Подобный антифундаментализм безусловно характерен для информации. Онто и является причиной беспокойства тех исследователей, которые считают, что логический фундаментализм имеет неограниченную область применения, а потому существует единое жесткое определение термина «информация». Такая лаконичная и жесткая дефиниция действительно невозможна: большинство определений верны, но все они являются частными, ибо отражают либо лишь определенный этап процесса (например, «передача сведений»), либо его цель («приобретение новых знаний»).

Как мы уже отмечали, длительное время в науке существовала загадочная неопределенность и неоднозначность в интерпретации понятия «информация». С одной стороны, крепла уверенность в том, что информация играет огромную роль в природе и человеческом обществе. С другой стороны, нельзя было не видеть, что попытки научного определения явления информации не имели успеха. Это наиболее ярко проявилось в сентенции создателя кибернетики Н. Винера, утверждавшего: «Информация есть информация, а не материя и не энергия»[15]. Ясно, что отрицание не может претендовать на роль определения, вместе с тем в данном случае оно существенно, ибо указывает на *отсутствие* субстанционального (вещественного и полевого) происхождения информации. С другой стороны, по мнению Н.Н. Моисеева, «строгого и достаточно универсального определения информации не только нет, но оно и вряд ли возможно»[16]. Имеется целая коллекция определений, имеющих гносеологический аспект.

В философском энциклопедическом словаре читаем: «Информация (от лат. informatio — ознакомление,

[15] *Винер Н.* Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. М.: Сов. радио, 1968.

[16] *Моисеев Н.Н.* Человек и ноосфера. М.: Молодая гвардия, 1990. С. 160.

разъяснение, представление, понятие): 1) сообщение, осведомление о положении дел, сведения о чем-либо, передаваемые людьми; 2) уменьшаемая, снимаемая неопределенность в результате получения сообщений; 3) сообщение, неразрывно связанное с управлением, сигналы в единстве синтаксич., семантич. и прагматич. характеристик; 4) передача, отражение разнообразия в любых объектах и процессах (неживой и живой природы)»[17].

Становится очевидным факт глубокого полиморфизма языка теории информации. Приведенная коллекция определений — результат суждений о разных гранях достаточно сложной концепции об информации, которая только еще начинает выкристаллизовываться на основе кибернетики и нелинейной динамики. Остановимся на одной из таких граней.

Особое место в коллекции определений занимают утверждения о том, что информация — это алгоритм: «информация... есть план строения клетки и, следовательно, всего организма»[18].

Модификацию этого определения мы встречаем в известной работе Эриха Янча, трактовавшего информацию как «инструкцию» к самоорганизации в процессе эволюции биологических структур[19]. Научное определение в аспекте «информация есть некий алгоритм» дает В. Корогодин. Обсудим его предложение[20].

Пусть имеется ситуация S, на основе которой спонтанно с вероятностью p может происходить событие Z, сопровождающееся побочными продуктами W. Это преобразование можно описать:

$$S \xrightarrow[p]{} (Z,\ W). \qquad (1.9)$$

[17] Философский энциклопедический словарь. М.: Политиздат, 1986. С. 590.

[18] *Эйген Э., Винклер Р.* Игра жизни / Пер. с нем. М.: Наука, 1979. 94 с.

[19] См.: *Jantsch T.* The self-organizing Universe: Scientific and human implications of emerging paradigm of evolution. Oxford etc.: Pergamon press, 1980. P. 99—102.

[20] См.: *Корогодин В.И.* Информация и феномен жизни. Пущино: АН СССР, 1991. С. 22—24.

Назовем Z «целью». Можно так воздействовать на процессы в S, чтобы вероятность достижения цели увеличилась до P. Для этого должно быть совершено целенаправленное действие с помощью некоего оператора Q, построенного на основе информации I. Следующее соотношение описывает целенаправленное действие:

$$(R,\ S) \xrightarrow[p,\ P]{Q} (Z,\ W), \qquad (1.10)$$

где R — ресурсы, содержащиеся в S.

Оператор Q — единственный компонент действия, отличающий его от спонтанного течения событий. Информационный оператор не может возникнуть случайно, а должен быть построен в соответствии с заранее имеющимся планом. Отсюда следует такое определение феномена информации:

- «совокупность приемов, правил или сведений, необходимых для построения оператора, будем называть информацией»[21].

Автор этого определения ограничивает возможность целеполагания только живыми организмами. Если бы это ограничение было справедливым, оно могло бы послужить резкой границей раздела между «живым» и «косным». Однако на основе представлений постнеклассической науки эта граница практически не существует. Дело в том, что математические модели нелинейных открытых сред свидетельствуют, что такие среды потенциально содержат определенные формы организации — наборы иерархических структур, самоподдерживающихся в определенных условиях взаимодействия с окружающей средой. Этот скрытый в нелинейной среде спектр структур — аттракторов предстает как спектр *целей* эволюции. Речь идет не только о биологической, но и об эволюции физико-химических систем. Целью является «выпадение» системы на аттрактор, то есть выбор такой информации, которая способна распространиться на всю систему. Другими словами, можно сказать, что

[21] *Корогодин В.И.* Информация и феномен жизни. С. 22—24.

целью является сохранение информации в будущем. Применительно к живым объектам, в частности, к биологической эволюции, цель — сохранение своей информации — представляется очевидной, так как соответствует сохранению индивидуума или вида. Но и в случае неживых неравновесных систем фиксируется распространение информации определенного вида на всю систему. Дело в том, что все сложные системы содержат подсистемы, которые непрестанно флуктуируют. Иногда в сильно неравновесной системе отдельная флуктуация может в результате положительной обратной связи стать настолько значимой, что «захватывает» множество подсистем, начинающих кооперативное движение под влиянием созданной информации, распространившейся на всю систему.

Большое число похожих и непохожих друг на друга определений понятия «информация» породило особое отношение ученых к возможности и необходимости выяснения сущности самого феномена.

Применение информационного подхода к описанию динамики различных систем (от механических до знаковых) не может быть методологически корректным без выяснения вопроса о сущности информации. Решение проблемы «определения» важно и для выяснения того места, которое занимает информация в окружающем нас мире.

В настоящее время признано, что в период традиционной науки значительная часть конкретного мира вокруг нас «ускользала из ячеек научной сети» (метафора Альфреда Норта Уайтхеда, цитируется по книге[22]). Это в полной мере относится к понятию «информация», генерация которой, как мы видим, связана с синергетическим процессом. Достаточно вспомнить и о многообразии этого явления: информация — выбор[23]; — сиг-

[22] См.: *Пригожин И.Р., Стенгерс И.* Время, хаос, квант / Пер. с англ. М.: Прогресс, 1984. С. 263.

[23] См.: *Кастлер Г.* Возникновение биологической организации: Пер. с англ./ Под ред. Л.А. Блюменфельда. М.: Мир, 1967. 90 с.; *Эйген М.* Молекулярная самоорганизация и ранние стадии эволюции // Успехи физических наук. 1973. Т. 109. Вып. 2. С. 545—590.

нал[24]; — программа[25]; — сведения[26]; — знания[27]; — негэнтропия[28]; — процессы отражения[29] и т. д. Становится ясным, что корни трудностей определения сущности феномена информации (об этом свидетельствует приведенные нами похожие и непохожие друг на друга формулировки), заключаются в попытках рассмотреть постнеклассический объект с позиций и методами традиционной науки. Серьезные попытки кибернетиков дать необходимое определение привели к своеобразному парадоксу: кибернетика широко использует информацию как средство управления сложными системами, но оказалась неспособной дать этому явлению адекватное определение. И это вопреки заинтересованности в решении вопроса ведущих кибернетиков, стремящихся к постановке больших теоретических проблем. К этому выводу приводит анализ обзорных работ, посвященных философии кибернетики и теории информации. В них поднимаются актуальные вопросы, например, о связи информации и психологии, о роли информации в развитии общества[30], о философской проблеме надежности кибернетических систем[31], о социальных пробле-

---

[24] См.: *Тарасенко Ф.П.* Введение в курс теории информации. Томск: Изд-во ТГУ, 1963. 240 с.

[25] См.: *Корогодин В.И.* Информация и феномен жизни. Пущино: АН СССР, 1991. 200 с.; *Эйген М.* Молекулярная самоорганизация и ранние стадии эволюции // Успехи физических наук. 1973. Т. 109. Вып. 2. С. 545—590.

[26] См.: *Котина С.В.* К вопросу о соотношении понятий отражения и информации // Труды Кишинев. с.-х. ин-та. Кишинев, 1968. Т. 175.

[27] См.: *Махлуп Ф.* Производство и распространение знаний в США. М., 1966.

[28] См.: *Винер Н.* Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине / Пер. с англ. М.: Сов. радио, 1968. 344 с.

[29] См.: *Берг А.И., Черняк Ю.И.* Информация и управление. М.: Мысль, 1966. 64 с.; *Бриллюэн Л.* Научная неопределенность и информация / Пер. с англ. М.: Мир, 1966. 272 с.; *Елгнанинова О.В.* Роль социальной информации и математических методов в выработке управленческих решений // Научное управление обществом. М., 1969. Вып. 3.

[30] См.: *Кочергин А.Н., Цайер З.Ф.* Информациогенез и вопросы его оптимизации. Новосибирск: Наука, 1977. 232 с.

[31] См.: *Пушкин В.Г.* Проблема надежности. М.: Наука, 1971. 192 с.

мах информатики[32] и т. д. Становится ясно, что дело не в субъективных сложностях, с которыми сталкиваются отдельные ученые и, уж конечно, не в недостаточной эрудиции этих ученых, а в принципиальной особенности познавательной ситуации. Признание информации многостадийным необратимым процессом в неравновесных системах означает, что информация — объект постнеклассической науки. Это раскрывает причину прежних неудачных попыток дать универсальное определение сложного феномена, рассматривая лишь один из множества его аспектов. Такой подход позволяет примирить различные частные определения и на их основе построить представление об информационном процессе, состоящем из отдельных стадий. Порядок и число стадий не универсальны и могут быть различны в разных конкретных ситуациях. Так, во многих случаях используются устройства, осуществляющие перевод информации с одних систем записи на другие, что позволяет участие в информационном процессе различных носителей. Возможные стадии отражены на схеме рис. 6. Заметим, что, понимая под термином «информация» процесс, мы употребляем его с глаголами «хранить», «запасать», «обладать». Во всех этих случаях имеется в виду способность информации — процесса оставлять реальные следы в материальном мире в виде некоторого результата. Так, например, носитель информации (блок 2) может восприниматься как объект, *обладающий* информацией, а блок памяти (блок IV) как *хранилище* информации, оператор (блок 7) как *устройство,* позволяющее реализовать программу, отвечающую семантике информации. Все эти существительные вовсе не исключают основного смысла информации — ее процессуальности. Ведь генерация — выбор, запоминание, кодирование, передача по каналам связи, считывание, отбор, целенаправленные действия — суть процессы. Покажем, что они связаны со свойствами информации (общими для всех ее видов), а также отражают причины глубокого полиморфизма этого термина. Каждая стадия

[32] См.: *Глинский Б.А.* Философские и социальные проблемы информатики. М.: Наука, 1983. 110 с.

выступает как некая грань сложной системы представлений, объединяемых концепцией постнеклассической науки. Разным ученым по тем или иным причинам оказываются доступными лишь эти отдельные грани явления, отсюда — множественность определений одного и того же феномена. Каждой стадии, представленной блоком рис. 6, введем в соответствие то или иное определение. Рассмотрим наиболее значимые элементы схемы.

Блок 1. «*Генерация информации есть случайный выбор»* (определение Г. Кастлера). Выбор имеет смысл, то или иное содержание или *семантику*. В дальнейшем развитии процесса информация однозначно определит оператор (блок 7), для построения которого она использована. В этой определенности информации и состоит ее важное свойство — семантика. Однозначность понимается в таком же смысле, как однозначность определения фенотипа генотипом.

Блок 2. Как было рассмотрено выше, *запоминание* есть необратимый, неравновесный процесс перехода системы из одного состояния в другое. Этой стадии процесса отвечает такое определение: «Информация — объективное содержание связи между взаимодействующими материальными объектами, проявляющееся в *изменении состояний* этих объектов»[33].

Фиксируемость представляет собой ключевое свойство информации, которая, не являясь «ни материей, ни энергией», может существовать только в зафиксированном состоянии на материальном носителе. При этом происходит деформация носителя с временем релаксации большим, чем время считывания.

Блок 3. Кодирование — подготовка сообщения для передачи по каналу связи либо к пользователю, способному считывать и декодировать информацию, либо в блок «Памяти» для длительного хранения.

В технике связи термин «кодирование» является родовым для всякого процесса, посредством которого сообщение превращается в сигнал, подходящий для

[33] *Михайлов А.И., Черный А.И., Гиляровский Р.С.* Основы информатики. М.: Наука, 1968.

данного канала. С кодированием и декодированием связан специальный круг задач создания наиболее труднорасшифровываемого кода или о наиболее простом кодировании.

Рис. 6. Блок-схема информационного процесса, состоящего из элементарных актов

Этой стадии информационного процесса отвечает определение, которое дается в словаре лингвистических терминов: «Информация — это сведения, содержащиеся в данном сообщении и рассматриваемые как объект передачи, хранения и переработки»[34]. Отметим и роль свойства мультипликативности, благодаря которому возможно существование одной и той же информации на разных носителях. Эти два свойства играют важную роль для процесса кодирования — подготовки сообщения (сигнала) для передачи по каналу трансляции либо в синхронном режиме, непосредственно к объекту-реципиенту, либо в блок «памяти» для длительного хранения. Каналов связи, каналов трансляции может быть несколько (на рис. 7 показан один между блоками 3 и 7), и «формат» каждого из них требует своего кода, что и становится возможным вследствие свойства инвариантности.

На стадии кодирования важным является свойство информации быть *инвариантом* по отношению к физической природе носителей[35].

Принцип инвариантности означает, что одна и та же информация, независимо от ее семантики, может быть «записана» на любом языке, любым алфавитом, то есть системой знаков, наносимых любыми способами на любые «подложки». Оказывается возможным переводить информацию с одного языка на другой (это относится и к «машинным» языкам). «Ярчайшим примером инвариантности информации может служить наше *понимание* генетической информации и *создание* искусственных генов в соответствии с заранее составленным планом»[36].

Блоки 4 и IV отвечают передаче к пользователю и в «Память» по каналам связи. Для этих двух идентичных стадий важно понятие не информации, а ее характеристики — «количество», определяемое по формуле Шеннона на основе статистических свойств сообщения, связанных с частотой передачи тех или иных сигналов. Связь с семантикой информации полностью

[34] *Ахманова О.С.* Словарь лингвистических терминов. М.: Сов. энциклопедия, 1966. 608 с.

[35] См.: *Дубровский Д.И.* Информация, сознание, мозг. М.: Высшая школа, 1980.

[36] *Корогодин В.И.* Информация и феномен жизни. Пущино: АН СССР, 1991. С. 31.

отсутствует, поэтому этим блокам можно привести в соответствие только *свойство транслируемости* — возможности информации быть переданной с одних носителей на другие. От скорости трансляции зависит жизнеспособность информации.

Мы уже отмечали, что до сих пор еще сильны традиции считать шенноновскую формулу, бесспорно важную в технике связи, исчерпывающим определением информации.

Эффективность и экономичность, а также помехоустойчивость передач логической информации, важной для общения людей, связаны с оптимальной конструкцией передающего устройства, включающего «кабель» связи. При этом возникает множество технических задач, решаемых в рамках теории связи.

Блок V — это блок памяти, то есть специальное устройство, использующее носители с чрезвычайно большой продолжительностью жизни. Такие блоки предназначены для хранения информации, запасенной впрок. Для искусственного создания запоминающих устройств может быть использовано неограниченное многообразие физико-химических явлений, обусловливающих изменение состояния некоторого запоминающего элемента под влиянием внешних воздействий. Создание подобных эффективных устройств в ходе развития информационных систем было настоящей революцией. Необходимость совершенствования конструкции блока памяти, имеющего наибольшую емкость и вместе с тем доступность запомненной информации, поставила задачу о наложении информации и об ассоциативной памяти. Последнее означает, что в блоке памяти могут быть наложены друг на друга информации, относящиеся к разным множествам. Мы говорим, что система обладает ассоциативной памятью, если при подаче на ее вход некоторой картины она автоматически отбирает и подает на выход наиболее близкую к ней хранящуюся в памяти картину.

Природным блоком запоминающего устройства с ассоциативной памятью является мозг. Исключительная пластичность мозга человека, система произвольного доступа к огромным объемам информации, хранящейся в нем, ставят множество вопросов о механизмах памяти, к обсуждению которых мы вернемся ниже.

Стадия хранения в памяти, строго говоря, не является процессом. Процессуально лишь формирование памяти и заполнение запоминающих ячеек блока памяти[37], что аналогично фиксации информации, но на гарантированно большие сроки (в идеале бесконечно большие), ибо неизвестно, когда понадобится запомненная информация. Таким образом, мы снова имеем дело со свойством *фиксируемости*, запоминания, другими словами, носителей. Гибель носителей или их существенное изменение означает потерю информации, которая таким образом обладает свойством *бренности*. Память противостоит этому свойству. Бренность различных информаций определяется свойствами их носителей. Носители, с которых считывается информация, могут иметь малое время жизни, поэтому приходится переводить информацию для ее длительного хранения на носители другой природы со значительно бóльшим временем жизни.

Блоки VI и 6 — это блоки рецепции информации из «памяти» и после перекодирования соответственно.

Рецепция (получение) информации есть необратимый процесс в неравновесной системе. Рецепторная система — это диссипативная система, самопроизвольно повышающая степень своей упорядоченности. На стадии рецепции созданная информация воспринимается неравновесной материальной средой, способной создавать структуры, отбираемые с помощью правил, естественного отбора, отбора людьми или созданными ими устройствами. Понятию информации на стадии рецепции отвечает определение Хаттена: «Информация означает порядок, коммуникация есть создание порядка из беспорядка или, по крайней мере, увеличение степени той упорядоченности, которая существо-

[37] Запоминающей ячейкой называется совокупность запоминающих элементов, предназначенных для хранения одного слова или одной команды.

вала до получения сообщения»[38], а также Винера: «Информация — это обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему и приспособления к нему наших чувств»[39]. Это согласуется с тем, что научное творчество в области естественных наук начинается рецепцией информации из природы, играющей роль «памяти». При этом первым информационным актом является измерение.

Под измерением понимается любое однозначное преобразование измеряемой величины в некоторую другую, называемую регистрирующим параметром, в то время как измеряемая величина является внутренним параметром исследуемой системы. Любой опыт, то есть результат измерения, дающий информацию о физической системе, приводит к увеличению энтропии либо самой системы, либо ее окружения и связан таким образом с необратимым процессом[40]. Это согласуется с нашим тезисом о том, что рецепция информации есть процесс необратимый. Блок 6 отвечает рецепции информации, переданной для пользователя, который должен ее принять и понять, а блок VI — рецепции из памяти. Наглядным примером является работа историка в архиве, документы в котором могут быть десятилетиями невостребованными, но тем не менее их сохраняют на случай будущей рецепции. Мы рецептируем информацию, когда учимся, читаем книги, слушаем музыку, смотрим фильмы и т. д.

В современной технике рецепция из запоминающих устройств используется в помехоустойчивых системах связи. Так, например, расшифровка кода в технике телеуправления осуществляется после накопления части кода в специальных запоминающих устройствах и периодически в нужные моменты рецептируется. В этом случае задействованы блоки VI и 6.

---

[38] *Hutten E.H.* The ideas of physics. Edinburg; London: Oliver & Boyd, 1967. 153 p. (Цит. по: *Винер Н.* Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине / Пер. с англ. М.: Сов. радио, 1968, С. 123—125.)

[39] *Винер Н.* Кибернетика и общество. М.: ИЛ, 1958.

[40] См.: *Поплавский Р.П.* Термодинамические модели информационных процессов // Успехи физических наук. 1975. Т. 115. Вып. 3. С. 465—501.

На стадии рецепции важен целый комплекс свойств информации: фиксируемость, размножаемость, мультипликативность (возможность одновременного существования одной и той же информации в виде некоторого числа идентичных копий), семантика. Инвариантность лежит в основе возможности *понимания* информации (то есть ее семантики), без которого рецепция была бы бесполезной.

Блоки 7 и 8 — это реализация некоторой программы, которая была выбрана в процессе генерации (блок 1). В связи с этим в книге М. Эйгена наряду с кастлеровским определением говорится и о таком ее смысле: «Информация, то есть план строения клетки и, следовательно, всего организма»[41]. Модификацию этого определения мы встречаем в известной работе Э. Янча, трактующего информацию как «инструкцию» к самоорганизации в процессе эволюции биологических структур[42]. Реализация информации, представляющей собой на этом этапе «руководство к действию», происходит благодаря оператору — устройству, позволяющему достичь цели, ради которой генерировалась или рецептировалась информация. По отношению к оператору информация — алгоритм для его построения. Сама по себе информация неспособна самостоятельно создавать оператор. Для этого необходимо реализующее устройство и ресурсы. Так, самая эффектная идея (информация) по совершенствованию, например, станка не создаст нового станка, пока не будут «прочтены» соответствующие чертежи и не будет настроен некоторый механизм реализации усовершенствования и, наконец, новый станок как результат целенаправленных действий.

В биологии к классу операторов необходимо относить и молекулы белка, и рибосомы, и негенетические компоненты клеток. В социальных системах оператором являются технологии, общественные институты, техника эксперимента.

---

[41] *Эйген Э., Винклер Р.* Игра жизни / Пер. с нем. М.: Наука, 1979. С. 12.

[42] См.: *Jantsch E.* The self-organizing Universe: Scientific and human implications of emerging paradigm of evolution. Oxford etc.: Pergamon press, 1980. P. 99—102.

Стадиям, описываемым блоками 7 и 8, относится определение: «Совокупность приемов, правил и сведений, необходимых для построения оператора, будем называть информацией»[43]. Построение оператора и обеспечение его функционирования требует не только ресурсов, но и энергозатрат.

Кроме семантики, важным для этих стадий является свойство *полипотентности*. Смысл полипотентности в том, что один и тот же оператор может быть использован для осуществления самых разных целенаправленных действий. Таким образом, одна и та же информация с одной и той же семантикой может быть использована для решения разных задач, для достижения различных целей.

Основным свойством информации на описываемых стадиях является ее *действенность* — ключевое свойство информации, приближающее систему к достижению цели. Без деятельности информация обречена на гибель, ибо сама по себе она бесполезна в силу своей пассивности.

Блок 9. Условием неограниченно долгого существования информации, вопреки бренности, является периодическая репликация (воспроизведение). Важно, чтобы скорость репликации была не меньше скорости деградации. В биологии, где репликация происходит постоянно, наряду с сохранением информации проявляется ее изменчивость, ибо при репликации возможны «ошибки» — «информационные дефекты»[44] , которые, тиражируясь в последующих поколениях, повышают изменчивость информации.

Итак, на этой последней стадии актуальными являются такие свойства, как размножаемость, мультипликативность (возможность существования одной и той же информации на разных носителях) и изменчивость.

Каким бы сложным нам ни казался информационный процесс, мы должны помнить, что своим происхождением он обязан материальной среде, генерируемая информация не может быть запомнена вне связи

---

[43] *Корогодин В.И.* Информация и феномен жизни. Пущино: АН СССР, 1991. С. 23.

[44] См: *Мелик-Гайказян И.В.* Информация и самоорганизация: методологический анализ. Томск: Изд-во ТПУ, 1995. 180 с.

с материей, а результат процесса никогда не находится в противоречии с законами природы, хотя и не прогнозируется ими.

Учитывая все сказанное, приходим к следующему определению.

Информация — это многостадийный, необратимый процесс становления структуры в открытой неравновесной системе, начинающийся со случайного запоминаемого выбора, который эта система делает, переходя от хаоса к порядку, и завершающийся целенаправленным действием согласно алгоритму или программе, отвечающим семантике выбора.

Информация — это следствие макроскопической необратимости, следствие «поляризованной природы того мира, в котором мы живем»[45]. В природе существуют системы с обратимым поведением, допускающие полное описание в рамках классической или квантовой механики. В таких системах информация не генерируется. Возможна только информация «о них», их изучение, то есть рецепция как тоже неравновесный, необратимый процесс в воспринимающей информационной системе.

Итак, мы выяснили, что определение Г. Кастлера относится к процессу генерации информации, математическая теория связи исследует процессы передачи информации, а понимание информации как алгоритма или инструкции (М. Эйген, Э. Янч) определяет этап совершения целенаправленных действий. Проблемой остается выяснение того, что является целью. Напомним, что в числе характеристик информации есть такая характеристика, как ценность, определяемая через вероятность достижения цели. Классическая наука исходила из того, что цель могут иметь только «живые объекты». Однако трудно согласиться с «отсутствием» информации в неживой природе.

Эволюция ценности информации

На каком этапе эволюции возникла информация? Мнения ученых по этому поводу различны: с момента

[45] *Пригожин И.Р., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / Пер. с англ. М.: Прогресс, 1986. С. 355.

Большого Взрыва — считают И. Пригожин, Г. Хакен; с момента начала биологической эволюции — М. Эйген, Э. Янч; только с момента создания генетической информации — Н. Моисеев, В. Корогодин.

На проблемном поле исследований эволюционных процессов долгое время отсутствовало то общее, что объединяет эволюцию лазерной системы, развитие эмбриона и эволюцию социокультурную, а именно отсутствовала *информация*, генерация, рецепция и эволюция ценности которой составляют необходимые элементы самопроизвольного развития.

Эрих Янч сумел «дать контуры унифицирующей парадигмы», способной пролить свет на неожиданный феномен эволюции[46]. Основой такого подхода является термодинамика сильно неравновесных открытых систем. Сходство процессов самоорганизации в имеющих разную природу системах позволяет строить целостную картину эволюции, начиная с «космической прелюдии» и кончая «оркестровкой сознания». При этом все уровни неживой и живой материи, все формы сознания получают единое объяснение — это эволюция, основанная на самоорганизации. Нравственность, мораль, религиозное сознание — все развивается подобно диссипативным структурам[47].

Для нас особенно значимым является включение Янчем в эволюцию феномена информации. Информация понимается им как «инструкция» к самоорганизации в живых системах, то есть находится в соответствии со стадией целенаправленного действия и воспроизводства (см. блок-схему на рис. 7). Поэтому развертывание процесса развития есть спонтанное структурирование самовоспроизводящихся систем. В итоге нет необходимости привлекать для объяснения специальные жизненные силы, подобные жизненному порыву А. Бергсона. Однако Э. Янчем не ставится вопрос о первых стадиях информационного процесса, а также об эволюции самой информации, самопроиз-

[46] См.: *Jantsch E.* The self-organizing Universe: Scientific and human implications of emerging paradigm of evolution. Oxford etc.: Pergamon press, 1980. P. 343.

[47] См. там же. P. 308.

вольном повышении ее ценности, образовании иерархических уровней все более высокого порядка и их влиянии на темп эволюции.

Эволюция — это цепь событий и переходов «хаос — порядок — хаос», цепь рождений информации, ее рецепции, передачи, трансформации и гибели. Отсюда идея о том, что научные представления об эволюции как о процессе должны включать некоторые требования[48].

Первое требование — необратимость, выражающаяся в нарушении симметрии между прошлым и будущим.

Второе требование — необходимость введения понятия «событие». События не могут быть выведены из детерминистического закона. Событие — это то, что может быть, а может и не быть. Можно описывать события в терминах вероятности, но далеко не все «вероятностные» модели (вспомним «орла» и «решку») могут претендовать на термин «событие». Событие должно порождать некоторый нетривиальный смысл. Методологическое предпочтение «языка событий» языку вещей, предметов объясняется тем, что с языком событий связаны идеи становления, развития и качественных изменений.

Третье требование — «некоторые события должны обладать способностью изменять ход эволюции. Иначе говоря, эволюция должна быть «нестабильной», то есть характеризоваться механизмами, способными делать некоторые события исходным пунктом нового развития, нового глобального взаимообусловленного порядка».

Генерация новой информации в процессе самоорганизации — это, несомненно, событие, ибо оно, с одной стороны, случайно, а с другой — всегда имеет некоторый смысл. В процессе самоорганизации на определенных этапах эволюции может возникать и развиваться информация, резко изменяющая ход, а главное, темп эволюции.

Значение для эволюции всех событий, ею же и «провоцируемых», не может быть одинаковым, так как

[48] См.: *Пригожин И.Р., Стенгерс И.* Время, хаос, квант / Пер. с англ. М.: Прогресс, 1994. С. 53.

событие — это создание новой информации различной ценности. Но не только ценность имеет значение. Такие свойства информации, как изменчивость, бренность, полипотентность, в сочетании с ее вероятностной природой указывают на возможность селекции информационных событий. Память об информации в виде сложных структур, сформированных из относительно простых, наслаивающихся друг на друга, пересекающихся и трансформирующихся, приводит к периодическому возникновению тех значимых в судьбе эволюции событий, о которых говорится в третьем требовании. Объединение структур, возникновение на этой основе более высокой иерархической организации всей системы адекватно представлению о возникновении новых, значимых в глобальных масштабах видов информации.

С позиций информационного подхода к универсальной эволюции весь единый грандиозный процесс неравновесного Универсума от Большого Взрыва до наших дней можно представить себе как цепь последовательных событий. Цепь эта имеет разветвления, тупиковые ветви, ведущие в никуда, возвраты, петли, но ее общая тенденция — прогресс, то есть повышение сложности, упорядоченности и разнообразия. Начало каждого события — создание новой информации — это скачок в развитии, далее следует адаптация — этап повышения ценности информации, сопровождающийся потерей ее новизны и увеличением сложности. Это приводит к обострению чувствительности систем к внутренним и внешним флуктуациям, разрушающим организацию системы, переводящим ее в хаотическое состояние. Затем — снова выход из хаоса, снова событие-информация, как случай, запоминаемый системой, вернее, множеством систем, развивающихся по множеству путей. И все время хаос играет роль средства продления времени жизни сложной структуры.

Мы выяснили, что причиной создания информации, создания новых порядков является хаос, что эволюция системы — это цепь событий и переходов «хаос-порядок-хаос», цепь рождений информации, ее рецепции, передачи, трансформации и гибели. Теперь уместно задаться вопросом, а что есть (и есть ли) *цель* этого процесса? В «досинергетический» период развития теории информации считалось, что целеполаганием обладают только живые системы. Философы, развивающие телеологические представления, «обвинялись» в идеалистических взглядах, несовместимых с результатами науки. Познавательная ситуация изменилась с открытием одного из фундаментальных фактов теории самоорганизации — странных аттракторов. Асимптотически устойчивые решения, окруженные областями притяжения, в литературе именуются аттракторами[49]. В классических представлениях это понятие было синонимом устойчивости и воспроизводимости — выхода в конечном итоге на «то же самое» при любых начальных условиях[50]. В синергетическом описании были выявлены определенные условия, при которых полностью детерминированные динамические системы «попадали» в область хаотического поведения (в область «близкого, но не того же самого»). В результате начальные условия, сколь угодно близкие, но не совпадающие, порождают различные траектории эволюции. В фазовом пространстве есть участки, «притягивающие» эти траектории, по которым происходят случайные блуждания. Полезно различать «странные аттракторы», фазовый портрет которых представляет некоторую ограниченную область решений, и «структуры-аттракторы» как реальные структуры в открытых нелинейных средах, на которые выходят процессы эволюции в этих средах[51]. Эволюционирующие системы, обеспечивающие глобальную эволюцию, содержат в своей среде спектр структур-аттракторов как спектр целей эволюции[52]. Несомненная роль случайности в процессе эволюции не означает, что будущее может быть каким угодно. И вместе с тем невозможно его предсказать даже для простейших самоорганизую-

---

[49] Attrahere — лат. «притягивать».

[50] См.: *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок, хаос, квант. М.: Прогресс, 1994. С. 80.

[51] См.: *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Основания синергетики. Режимы с обострением, самоорганизация, темпомиры. СПб.: Алетейя, 2002. С. 364.

[52] См.: *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М.: Наука, 1994. С. 88.

щихся систем из-за множественности путей развития. Эта непредсказуемость прежде всего относится к тем «поворотным» событиям, которые способны повлиять на ход эволюции, на темп развития. Невозможно предсказать не только когда произойдет это событие, но и в чем оно будет состоять. Логика, последовательность, смысл событий-информаций виден только в ретроспективе. Воспользуемся этим для того, чтобы построить иерархическую лестницу видов информации.

Итак, еще раз повторим, что в числе характеристик информации есть такая характеристика, как ценность. Ценность определяется через вероятность достижения цели. Считалось, что цель могут иметь «живые объекты». На этом основании утверждалось, что информация «начинается» с генетической. В.И. Корогодиным на эволюционной шкале были выделены следующие виды информации: генетическая, поведенческая, логическая[53]. Герман Хакен[54], выявляя связь информации и самоорганизации в динамике квантово-механических объектов, ввел понятие «синергетическая информация», так называемая S-информация. Для него информация в системах любой природы — это S-информация. Стало ясно, что цель может определяться аттрактивными состояниями как возможными направлениями эволюции системы. Это было принципиальным для обоснования существования информации в системах различной природы. Можно показать[55], что на шкале универсальной эволюции периоды увеличения сложности самоорганизующихся систем и резкого повышения темпа их развития обусловлены генерацией вида информации более высокого иерархического уровня. Есть основания говорить о четырех видах информации: синергетической, генетической, по-

[53] Термин В.И. Корогодина (от греч. logos — слово), фиксирующий вид информации, связанный с возникновением вербальных и визуальных языков. Логическая информация обеспечивает преемственность и развитие культур.

[54] См.: *Хакен Г.* Информация и самоорганизация / Пер. с нем. М.: Мир, 1993.

[55] См.: *Мелик-Гайказян И.В.* Информация и самоорганизация. Методологический анализ. Томск: Изд-во ТПУ, 1995. С. 72—87.

веденческой и логической. Принципиальным является то, что свойства, характеристики и предпосылки информации изоморфны для всех ее видов (см. таблицу 1 на с. 440). Сами же виды различаются наборами носителей и операторов (механизмов реализации целенаправленных действий). Таким образом, виды информации гомоморфны, что не позволяет результаты, полученные для одного вида, экстраполировать на другие виды. Нарушение этого положения будет приводить к методологическим ошибкам.

В связи с пониманием сути того, что являет собой цель, следует обратиться к следующей философской проблеме. Как отмечалось выше, информация создается, передается, воспринимается, кодируется, хранится, используется, и все это является некими элементарными актами, стадиями процесса. Информация — сложный **процесс**, состоящий из элементарных актов. Элементарность эта относительна, ибо механизмы соответствующих процессов достаточно сложны. При переходе от одной стадии процесса к другой информация всякий раз предстает в «новом обличье». Результат, получаемый при завершении одной стадии, делает возможным начало следующего этапа. Увидеть это, а тем более идентифицировать отдельные стадии с теми или иными дефинициями информации, с позиций классической науки невозможно, ибо ей чуждо описание создания нового, ранее не существовавшего, чуждо процессуальное описание становления. В этом отношении философия А.Н. Уайтхеда значительно опередила господствующую в его время парадигму классической науки, представив системное понимание **процесса** становления. Он выделял два вида процессов становления: «сращение» и «переход». Сращение — это телеологический процесс конституирования новой реальности, переход — это восхождение от достигнутого (в результате сращения) к новой действительности, подготавливающий основания для следующего сращения.

Телеологические представления «разбиваются» на три уровня. Собственно *телеология* дает объяснение направленности процессов, исходя не из конечных состояний, а из их «*целе*-направленности» под воздействием надприродных сил. Представление о странных аттракторах, о структурах-аттракторах дает право употреблять понятие «телеология», не прибегая к гипотезе о «надприродных силах». *Телеономизм* рассматривает процессы, направленные к конечному состоянию, под контролем «встроенных» в них инструкций, программ. В контексте нашего обсуждения ярким примером телеономизма является работа оператора, о котором мы говорили выше. Пассивное, регулируемое внешними условиями достижение конечного состояния описывается *телеоматическими* процессами. Примером таких процессов являются передача, хранение и декодирование информации в технических информационных системах.

Применительно к информационным процессам разделение А.Н. Уайтхеда на «сращение» и «переход» выглядит следующим образом.

На рис. 6 мы привели модель информационного процесса на этапе «перехода». Эта модель показывает возможный путь тех «перевоплощений» информации, которые потребуются, чтобы сгенерированный выбор был воплощен в достаточно эффективный способ реализации. Итак, это модель разворачивания процесса, детерминированного первоначальным зафиксированным выбором системы.

Но как выглядит процесс генерации, для которого мы использовали определение Г. Кастлера? Каков механизм процесса, причиной которого является цель? Приведем модель эволюции ценности информации, являющейся возможной моделью телеологического этапа информационного процесса.

Преодолевая хаотическое состояние, система выбирает один из многих возможных путей дальнейшего развития, то есть генерирует информацию. Эта информация фиксируется, объективируется системой. Выбор сделан. Ценность его будет определена вероятностью приближения к целям системы, к реальным для этого пространства режимов структурам-аттракторам. Итак, в результате «сращения» многих факторов, влияющих на совершаемый выбор, а также на динамику целей преодоления неустойчивости система избирает сценарий поведения. Происходит событие, завершающее телеологический этап. В результате телеологического процесса происходит «вывод на поверхность, проявление потаенного в природе, как мы бы сказали, асимптотик целей, "идей" развития, структур-аттракторов»[56]. Итак, сильная неустойчивость (область бифуркации) «открывает» для системы возможность выбора будущего. Пределы же выбора определяются спектром возможных структур-аттракторов, то есть система выбирает не из сколь угодного, а из определенного числа вариантов. Следует отметить, что, во-первых, некая «предзаданность» разрешерного будущего, закрепленная в спектре структур-аттракторов, действует в интервале между состояниями сильной неустойчивости, «между бифуркациями». Во-вторых, выбор будущего в этом интервале совершается необратимо. В-третьих, весь процесс развития, вся цепь переживания бифуркационных состояний, все «сращения» притягиваются из будущего тем, что И.Р. Пригожин назвал «привлекающим хаосом», то есть странными аттракторами.

Уже более двадцати лет назад была предложена модификация модели Лоттки—Вальтера[57]. Модель имеет вид:

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} = n_i / \tau - \sum_{j=1}^{N} n_i n_j - a n_i^2 + \Delta n_i, \qquad (1.11)$$

где n_i — число носителей информации i-го типа, т. е. концентрация элементов системы, сделавших выбор i-варианта из N вариантов. Член n_i описывает автокаталитическое производство; τ — время авторепродукции. Отрицательный член $\Sigma n_i n_j$ — отвечает антагонистическому (конкурентному) взаимодействию. Член $a n_i^2$ — описывает эффект «тесноты», борьбу за «ресурсы» одинаковых, сталкивающихся друг с другом элементов. Член Δn_i — позволяет проводить анализ пространственно-временных распределений кон-

---

[56] *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Основания синергетики. Режимы с обострением, самоорганизация, темпомиры. СПб.: Алетейя, 2002. С. 132.

[57] См.: *Chernavskay N.V., Chernavski D.S.* Some Theoretical Aspects of the Problem of Life. // Origin. Theor. Biol., 1975. T. 8. № 53. P. 13—20.

Таблица 1

ИЕРАРХИЯ ВИДОВ ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Вид информации	Носители	Операторы	Примеры информационных систем	Основные функции
1	2	3	4	5
I. СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ (S-информация)	Элементы самоорганизующейся системы (дискретная или сплошная нелинейная среда)	Самовоспроизводящиеся диссипативные локальные структуры	Циклоны, химические системы с автокатализом, лазеры, геологические самоорганизующиеся системы	Выбор пути устойчивого развития системы, ее прогрессивная эволюция, сохраняющая информацию
II. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ Возникла на основе S-информации	Молекулы РНК и ДНК (одно- или двухспиральной)	Негенетические компоненты клеток, соматические элементы	Простейшие организмы, растения, все живое	Обеспечение слаженности функционирования клеток и организмов
III. ПОВЕДЕНЧЕСКАЯ Возникла на основе генетической информации	Структуры нервных клеток (пока неизвестные) для передачи информации — световые лучи, звуки, запахи	Поведенческие реакции; условные и безусловные рефлексы. Животные с развитой нервной системой. Система «Учитель»	Все высшие животные, включая человека, экологические системы	Обеспечение функционирования популяций организмов, обладающих развитой нервной системой
IV. ЛОГИЧЕСКАЯ Возникла на основе информаций генетической, поведенческой; использует при своем развитии S- информацию	Тексты, материальные тела, на которых возможна запись информации; технические системы	Групповые поведенческие реакции, трудовые навыки, технологии, техника эксперимента, общественные институты, формы художественных произведений	Научные сообщества, семиосфера, биосфера, логосфера	Обеспечение: 1) быстроты обмена новыми знаниями между членами сообщества; 2) консолидации членов сообществ; 3) создание операторов-орудий труда, производственных навыков и научных методов

центраций (Δ — коэффициент диффузии). Модель описывает широкий круг ситуаций, ее применение оказалось плодотворным для решения самых разных задач о возникновении биологической информации, формирования языка, эволюции когнитивных систем и т. д. Другими словами, модель демонстрирует информационные условия выживания в самоорганизующихся системах. Реализация предлагаемого способа развития в условиях конкуренции различных проектов будет зависеть от способности порождать (авторепродукция) и привлекать (диффундирование) сторонников, с минимальными «потерями» преодолевать сопротивление противников (конкурентное взаимодействие) и «делить» ресурсы с приверженцами вашей цели (эффект «тесноты»). Процесс развития такой системы делится на ряд этапов, представленных на рис. 7, *б*. Исходным состоянием является динамический хаос, предбифуркационное, кризисное состояние поиска решений. Выход из кризиса находится вследствие генерации информации, причем сценариев развития системы может быть несколько (полифуркация). Положение «ветвей» бифуркационной кривой относительно оси *X* (рис. 7, *а*) показывает, что эволюция системы происходит с повышением степени порядка (самоорганизация) или, в случае нахождения «ветви» ниже точки бифуркации, с понижением степени порядка — самодезорганизация. Последующие за этим этапы можно характеризовать следующим образом.

I. Информационное пространство разбивается на кластеры с неустойчивыми границами, зависящими от подвижности элементов системы — носителей информации. *Мозаика* кластеров демонстрирует этап, на котором идеи уже высказаны, но участники (носители информации) еще не приняли окончательного решения и могут переходить (диффундировать) из кластера в кластер.

II. С течением времени происходит выпрямление нестабильных границ. Образуется структура типа *паркета*. Решения концептуально оформлены. Происходит медленная эволюция, в результате которой мелкие кластеры исчезают, а крупные увеличиваются.

III. Образование состояния, в котором «побеждает» кластер носителей одной идеи. Антагонистическое взаимодействие происходит лишь на фронтах раздела между кластерами. Фронты движутся в направлении уменьшения обитания меньших кластеров. Это движение для многих систем очень медленное. Процесс заканчивается образованием чистого кластера, например единого генетического кода или господства одной парадигмы.

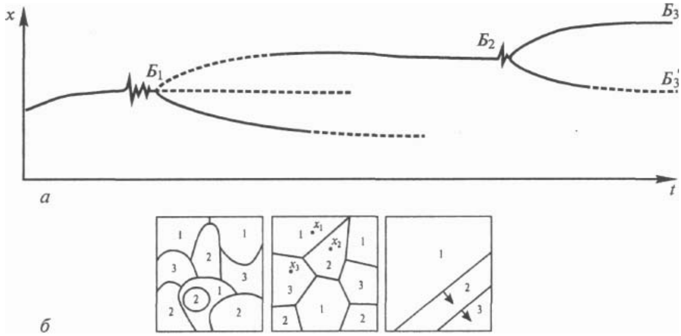


Рис. 7. Эволюция информационной системы: а) бифуркационная кривая; б) этапы эволюции — «мозаика», «паркет», переход к «чистому» кластеру. Участки быстроменяющихся X в области $Б_1$ и $Б_2$ обозначают предбифуркационные состояния. Пунктир на ветвях бифуркационной кривой показывает, что определенное решение может приобретать (или терять) актуальность со временем в зависимости от направленности информационных процессов самоорганизации

Зная в рамках рассмотренной модели поведение всей системы и ее элементов, мы можем сказать, что целью каждого элемента является сохранение своей информации на достаточно долгое время. Какое время? В начальный момент у всей системы в целом цель не сформирована, но каждый элемент имеет цель сохранить свою информацию, сейчас зафиксировать свое место. Конструктивными являются *конъюнктурные* цели, имеющие сиюминутную ценность. На следующей стадии элементы группируются. Каждая группа (кластер) имеет цель не только сохранить свою информацию, но и расширить ареал ее существования. Успешность существования зависит от совпадения индивидуальной цели с *прогностическими* целями (для современных социальных систем: 5—10 лет) образующегося кластера. На завершающей стадии один из ареалов, преследующий *асимптотическую* цель (отдаленное будущее), занимает господствующее положение. Асимптотически ценная информация на промежуточных стадиях эволюции практически не вызывает интереса, ибо убедиться в ее «вечной» ценности удается лишь после «победы» того кластера, чьи стратегии (конъюнктурная, прогностическая, асимптотическая) совпадают.

Необходимо иметь в виду, что модель (рис. 7) представляет не весь информационный процесс (рис. 6), а лишь телеологический его этап.

Заключение

Подведем итоги. Мы предприняли попытку представить круг проблем, решение которых составляет существо современного подхода к исследованию феномена информации.

Читатель мог обратить внимание на то, что многие из цитируемых нами работ относятся к периоду 40 — 60-х гг. прошлого века. К тому периоду, когда создатели первых компьютеров (ЭВМ) пытались найти те проблемные зоны кибернетики, которые необходимо было «копать», чтобы построить обобщенную теорию информации. Счетные и шифровальные устройства, архитектура ЭВМ и каналы связи, алгоритмические языки и принципы программирования были уже разработаны, а дальнейшее их совершенствование было в прямом и переносном смыслах делом техники. Задачу управления процессами трансляции информации в искусственных системах кибернетика решала. В этом направлении было создано много красивых теорий, например теория игр и теория автоматов Дж. фон Неймана, теория гиперциклов М. Эйгена, теория морфогенеза Алана Тьюринга и др. Заметим, что «почва» также была достаточно «взрыхлена» философскими исследованиями. Работы А.А. Богданова, А. Бергсона, Ч. Пирса, А.Н. Уайтхеда, Э. Янча служили своеобразными «указателями». Существование в природе разнообразных высокоорганизованных систем, их приспособляемость к изменяющейся среде, их развитие и самовоспроизведение привело к идее о некотором универсальном механизме, придающем этим объектам способность не только не утрачивать свою упорядоченность, но с течением времени даже повышать ее. Это интуитивное представление о самоорганизации было переведено на уровень научной логики, развивавшейся в середине двадцатого столетия — наукой об оптимальном управлении сложными динамическими системами. Не решив всех проблем самоорганизации, кибернетика тем не менее выявила ряд важных общих черт, установила аналогии процессов в сложных вычислительных машинах и живых организмах. Весьма плодотворной оказалась кооперация усилий биологов и математиков. Практическая работа с вычислительными машинами в сочетании с изучением самовоспроизведения в естественных системах позволили Дж. фон Нейману изучить вопрос о «логике» самовоспроизведения искусственных устройств — автоматов, построить непрерывную модель самовоспроизведения, основанную на нелинейных дифференциальных уравнениях в частных производных, создать теорию абстрактных клеточных автоматов, кстати, успешно применяемую при моделировании нейронных сетей. Развивая теоретико-игровой подход к самоорганизации, Г. Паск предложил структуру модели эволюции системы, состоящей из абстрактных «автоматов-игроков», способных принимать решения в борьбе за некоторую, также абстрактную, «пищу». Модель показывает, что у жизнеспособных автоматов появляется тенденция к коллективным действиям, к кооперации усилий для образования упорядоченных структур — коалиций. Выводы были проверены на живых клеточных автоматах — амебах, которые по условиям эксперимента должны были проходить через голодные районы. На картинах образования когерентных структур в системе живых автоматов с выделенными центрами коагуляции четко видны спиральные и концентрические волны агрегирующих популяций. В итоге образуется единый организм — многоклеточное «тело», содержащее примерно 10^5 клеток и контролирующее большую территорию, способное перемещаться в область, богатую пищей. Такова гибкая реакция системы на неблагоприятные изменения среды обитания. Позже создатели термодинамики неравновесных систем обнаружат удивительное сходство этой картины с образованием когерентных структур в самоорганизующихся химических системах — на двумерной модели реагирующей смеси, в которой протекают колебательные химические реакции. В присутствии красителя видны образования, представляющие собой отчетливо окрашенные кольцевые структуры, распространяющиеся в виде волновых фронтов из нескольких центров — «пейсмейкеров». Химические волны — результат пространственно-временной самоорганизации, тщательно изученной экспериментально, промоделированной математически с помощью систем дифференциальных уравнений, принимающих нелинейную форму в этом, как и во всех остальных случаях описания процессов конкуренции, самоорганизации и самодеструкции каких-либо величин. На основе обобщения множества подобных результатов поведения физико-химических систем и возникла новая ветвь исследования — область нелинейных явлений, но уже не силами кибернетиков, внимание которых привлекали в основном искусственно созданные сложные системы.

Вернемся к примеру с одноклеточными автоматами. По условиям задачи Г. Паска они были способны «принимать решения». Стимулом к этому была передача информации о «голоде» с помощью сигналов. Как выяснилось, носителем их является некоторое химическое вещество (АМФ), выделяемое клетками. Его синтез и выделение происходит с четким периодом при данных экспериментальных условиях, периодически вызывая перемещение одноклеточных в область повышенной концентрации АМФ, что и обеспечивает появление волновых картин распределения амеб в пространстве. Возникает, как и в случае периодических химических реакций, новый уровень организации, характеризуемый согласованным поведением большого числа элементов системы. Но если в случае колонии амеб это живые автоматы, способные к самостоятельным действиям, то в случае упорядоченной химической реакции это, казалось бы, неспособные к таким действиям молекулы. Почему же миллиарды молекул ведут себя согласованно, участвуя в самоорганизации открытой химической системы, проявляют способность к образованию когерентных (диссипативных) структур? В случае живых автоматов стимулом к согласованным действиям были информационные процессы. Есть основания полагать, что и самоорганизацией неживой химической смеси тоже управляют информационные процессы. Очевидно, без учета их роли нельзя построить модель даже физико-химической системы, адекватную ее сложному поведению.

Важным ингредиентом сложного поведения системы, ее саморегуляции при эволюции является наличие обратных связей, изучаемых кибернетикой. Роль понятия обратной связи для управления подчеркивалась Н. Винером и широко использовалась в трудах Дж. фон Неймана. Все вычислительные машины имеют обратную связь как в своих неизменяемых, так и перестраиваемых частях. В различных динамических системах обратные связи имеют свой специфический характер. Так, самоорганизация биохимических процессов в биологических системах опирается на автокатализ. Оказалось, что открытые неравновесные химические системы, реакционная система которых содержит автокаталитическую стадию (то есть стадию, на которой образующееся вещество катализирует увеличение своего количества, обеспечивая обратную связь), способны переходить в новые состояния. Сложное поведение компонентов реакции детально изучено для колебательных реакций школой И.Р. Пригожина. Эти реакции (например, Белоусова — Жаботинского) проявляют свойства самоорганизации, рассматриваемые в качестве прототипа различных диссипативных структур, образующихся в живых организмах. При этом существенную роль играют диффузионные процессы. Впервые на это обратил внимание А. Тьюринг, предложивший модель абстрактной реакции. Мы привели этот экскурс для того, чтобы обратить внимание, что «эффект тесноты», авторепродукция, диффузионные процессы, учитывающиеся моделью (1.11), имеют место в динамике систем различной природы. Подчеркнем, что модель (рис. 7) раскрывает механизм рождения новой степени упорядоченности в состояниях, когда система выбирает возможные варианты преодоления неустойчивости. Целью системы на этом этапе является сгенерировать информацию, зафиксировать выбранный путь «из хаоса». Таким образом, модель (рис. 7) есть модель телеологического этапа информационного процесса, который представляет механизм самоорганизации.

В заключение сформулируем методологические основания программы исследований информационных процессов в сложных системах.

1. Сущность феномена информации заключается в его процессуальности, протекании во времени равнозначных стадий.

2. Информационные процессы берут свое начало только в самоорганизующихся системах.

3. Рамки формализма математической теории связи узки для постижения сложного феномена информации, являющегося объектом постнеклассической науки.

4. Все виды информации (в ходе универсальной эволюции созданы четыре вида: синергетическая, генетическая, поведенческая, логическая), различаясь своими носителями, функциями и механизмами реализации, обладают общими свойствами.

5. Исследование сложных систем, развитие которых сопровождается сменой доминирующих элементов, оптимально при обращении к неформализованным выводам динамической теории информации (эволюция ценности информации; конкуренция систем-кластеров как конкуренция эффективности средств достижения целей).

Глава 7

СОЦИОКУЛЬТУРНЫЕ И МЕТАФИЗИЧЕСКИЕ «КРУГИ» И ИХ РОЛЬ В РАЗВИТИИ МАТЕМАТИКИ

Философам и историкам математики хорошо известны три знаменитых утверждения Аристотеля, относящиеся к возможностям математики. «О случайном не может быть знания через доказательство». «Актуально-бесконечного не существует». «Математические науки чужды движению, за исключением тех, которые относятся к астрономии». Как бы ни интерпретировать эти слова Стагирита, очевидно, что они никак не могли способствовать возникновению таких математических теорий, как теория вероятностей или анализ бесконечно малых, или теория множеств, или теория всех возможных геометрических преобразований на плоскости и в пространстве. Хотя, с нашей точки зрения, имевшийся тогда общий уровень развития математики (и сопутствующей техники научного мышления) и накопленный опыт решения подобных проблем делали возникновение упомянутых выше теорий вполне возможным. Достаточно в этой связи сослаться на математическую деятельность Демокрита, а позже — Евдокса по созданию основ будущей теории дифференциального и интегрального исчисления. Конечно, философия Аристотеля не могла запретить появление данных математических теорий. Однако она явно не способствовала их утверждению и развитию. В лице Аристотеля математическая философия абсолютизировала тот социально-культурный и философский контекст, который сложился в античную эпоху и который признавался подавляющим большинством математиков того времени чем-то «естественным» или само собой разумеющимся. Более того, можно утверждать, что указанные выше «запреты» явились выражением и отражением неявных предпосылок философско-математического сознания античной эпохи, которые имели не только отрицательное, но и положительное значение для развития и успешного функционирования математики. Дело в том, что любые ограничения и запреты имеют то положительное значение, что позволяют сконцентрировать всю имеющуюся когнитивную энергию на решении вполне определенного круга проблем. Беда вовсе не в ограничениях и запретах самих по себе, а в том, что часто (и, как правило, довольно длительное время) их реальный статус исторического априори принимается (или выдается) за статус абсолютного (вневременного) априори. Это в определенный момент эволюции науки может стать уже действительно серьезным препятствием в ее развитии. К сожалению, не существует (и, возможно, не может существовать) однозначных критериев отличия «исторического априори» от «абсолютного априори» и определения границы или точки перехода от одного исторического априори к другому. Реальная возможность отказа от сложившихся когнитивных стереотипов созревает постепенно (с параллельным изменением объективной структуры коллективного бессознательного в науке), а точка возможной бифуркации, как правило, интуитивно предчувствуется одновременно рядом активно работающих и «инновационно заряженных» ученых, от которых требуется обладание огромным мужеством для принятия и отстаивания революционных когнитивных решений. Оправдывается же необходимость такого перехода от одного исторического когнитивного априори к другому, как правило лишь задним числом, по мере успешности реализации новой исследовательской программы или «парадигмы» (Кун).

В контексте данных размышлений о структуре и динамике научных изменений весьма плодотворным представляется введение выдающимся французским математиком А. Гротендиком понятия «метафизического круга» в его философско-математическом эссе «Урожаи и посевы. Размышления математика». Остановимся на его идеях несколько подробнее.

По мнению Гротендика, большинство математиков ограничивают себя жесткими понятийными рамками, затворившись во Вселенной, обустроенной раз и навсегда, а именно в том универсуме, который они нашли тогда, когда принимались за свои научные изыскания. Получив в наследство большой, красиво обустроенный математический дом со всеми удобствами, гостиными, кухнями, мастерскими и общедоступными инструментами, они и не задумываются, почему и как были задуманы и изготовлены инструменты, которыми они пользуются, почему комнаты размещены и благоустроены так, а не иначе[1]. При этом Гротендик замечает, что подобная ситуация не является специфичной лишь для математики. С подобным положением дел можно столкнуться в любой из сфер человеческой деятельности с незапамятных времен.

Но существуют математики, к числу которых Гротендик (и, надо сказать, не без оснований) относит и себя самого, чьим призванием является беспрестанная жажда строительства новых домов. И как бы прекрасно и гармонично ни были устроены имеющиеся Вселенные, этим ученым претит дальнейшее благоустройство построенных трудами предшественников (или даже ими самими) математических дворцов, они стремятся к открытию новых, непривычных миров. К такого типа математикам Гротендик относит прежде всего Галуа, Римана и Гильберта. Среди своих современников Гротендик причисляет к их числу одного из своих учителей Ж. Лере.

Говоря о математиках, не принадлежащих к числу суперинноваторов, Гротендик отмечает, что им часто удавалось получать значительные, порой очень красивые результаты, однако эти результаты находились в

[1] См.: *Гротендик А.* Урожаи и посевы. Размышления о прошлом математики. М., 1995. С. 29.

рамках уже завершенного контекста. Эти ученые, не подозревая о том, так и остались узниками «кругов невидимых и властных», установленных в качестве своеобразных границ для математической Вселенной в данную эпоху и в данной среде. Они и не помышляли о том, чтобы затронуть эти границы. Для того чтобы переступить их, считает Гротендик, ученый должен был бы вновь обрести дарованную ему при рождении способность быть одному[2], то есть быть абсолютно свободным от социокультурного. Речь идет о способности самостоятельно анализировать проблемы, не доверяя вербально или по умолчанию общепринятым представлениям, способности не становиться добровольным узником тех кругов, которые в каждую эпоху ограничивают горизонт творчества. В процессе познания Вселенной (в том числе и ее «математического среза»), утверждает Гротендик, только невинность, и ничто другое, наделяет нас реформаторской властью. Это та первоначальная невинность, которая дана человеку от рождения, которая порой неявно обитает в каждом из нас, являясь зачастую объектом нашего же презрения и тайного страха. Одна лишь невинность, по убеждению Гротендика, объединяет смирение и смелость, благодаря которым человек оказывается способным проникнуть в суть «вещей» и, с другой стороны, проникнуться ими, впустив их внутрь себя. Именно эта власть (а отнюдь не особый «дар», подобно исключительной способности рассудка усваивать и управляться легко и ловко с огромной массой известных идей, технических приемов и фактов, а также и не честолюбие, поддержанное непреклонной волей к успеху) позволяет перешагнуть «круги невидимые, но властные», ограничивающие наш творческий горизонт. Это преодоление часто не вполне осознается именно благодаря осуществляющей его невинности.

Но какова природа этих кругов, о которых говорит французский математик? Отмечая наиболее важные темы своего математического творчества, Гротендик

---

[2] См.: *Гротендик А.* Урожаи и посевы. Размышления о прошлом математики. С. 22.

заявляет, что каждая из них является воплощением единого широкого видения, которое может быть обозначено как **новая геометрия**. «Новизна» этой геометрии заключается в обеспечении синтеза двух миров до ее появления, хотя и тесно взаимосвязанных друг с другом, но все же отдельных, различных: мира «арифметического» и мира непрерывных величин. В «новой геометрии» эти два мира, некогда отдельные, сливаются в один, сметая существовавшие ранее границы. При этом идею **топоса**, стоящую в центре «новой геометрии», Гротендик рассматривает как свидетельство фундаментального изменения наших представлений о пространстве. Дело в том, что до появления понятия топоса (конец 50-х гг.) эволюция представлений о пространстве происходила в рамках природы самой непрерывности. И лишь идея топоса охватила в общетопологической интуиции как традиционные топологические пространства, олицетворяющие мир непрерывных величин вместе с многообразиями («пространствами») абстрактной алгебраической геометрии, так и бесконечное множество структур другой природы, до тех пор считавшихся принадлежащими миру арифметическому («дискретные» или «разрывные» системы). Показательно, что Гротендик сравнивает появление «новой геометрии» с возникновением теории относительности Эйнштейна прежде всего потому, что обе концепции демонстрируют фундаментальное изменение наших представлений о пространстве (соответственно о «математическом» и «физическом» пространстве), а также из-за того, что эти концепции охватывают в едином видении множество ситуаций, ранее воспринимавшихся совершенно изолированно друг от друга. Продолжая сравнение с развитием современной физики, Гротендик указывает на **квантовую механику, в которой материальная точка классической физики уступает место «вероятностному облаку»**, что символизирует еще более, чем у Эйнштейна, фундаментальное изменение самого способа восприятия явлений. Другими словами, круги, ограничивающие горизонт мышления ученого и преодолеваемые учеными-первооткрывателями, имеют преимущественно метафизическую (философскую) природу (общие представления о пространстве, времени и т. п.). И конечно, можно говорить об укорененности этих метафизических представлений в социокультурном контексте функционирования и развития науки.

Следует отметить, что выявление социокультурных и метафизических кругов и анализ процесса их преодоления в развитии науки затруднены настолько, насколько близко находится исследователь к рассматриваемому им фрагменту истории науки. И это не является удивительным, ведь мы сами зачастую являемся пленниками определенных предрассудков, унаследованных от прошлых времен, что, разумеется, не способствует адекватному их выявлению и характеризации. Проанализируем некоторые из кругов в развитии математики и пути их преодоления.

Круг первый: «О случайном не может быть знания через доказательство», или Почему теория вероятностей не возникла вплоть до XVII в.

Считается (и это правильно), что исходным пунктом возникновения теории вероятностей послужила переписка между двумя выдающимися математиками Нового времени Ферма и Паскалем. Эта переписка относится к 1654 г. и содержит главным образом обмен результатами решения задачи на разделение ставки в ходе азартных игр, в частности, при их прерывании в определенный момент времени.

В 1656—1657 гг. Гюйгенс, узнавший о том, что Ферма и Паскаль серьезно заняты задачей на разделение ставки, подключился к этим исследованиям и в 1657 г. опубликовал работу «О расчетах в азартной игре» — первое увидевшее свет сочинение по теории вероятностей. В предисловии к этому изданию можно прочитать следующие примечательные строки: «Чем более трудной является задача определения при помощи рассуждений того, что кажется неопределенным и подчинено *случаю*, тем более *наука*, которая достигает результата, представляется удивительной. Во всяком случае, я полагаю, что при внимательном изучении предмета читатель заметит, что имеет дело не только с игрой, но что здесь *закладываются основы очень интересной и глубокой теории»* [3]. Значение этой небольшой работы Гюйгенса трудно переоценить. И не случайно, что первая часть работы Я. Бернулли «Искусство предположений», появление которой знаменует окончательное становление новой теории, представляет собой перепечатку и тщательный комментарий упомянутой работы Гюйгенса.

Таковы вкратце историко-научные факты, из которых следует вывод о том, что становление теории вероятностей как науки происходило во второй половине XVII в. (основные теоретико-вероятностные результаты были получены Я. Бернулли в 90-х гг. XVII столетия)[4]. В связи с этими фактами интересно разобраться в таком вопросе: является ли возникновение математической науки о случайном именно в XVII в. «случайным событием»? Правомерность этого вопроса обусловлена, с одной стороны, достаточно высоким уровнем развития математики в античности, а с другой стороны, имеющимися сведениями о распространенности как в античности, так и позднее, в средние века и эпоху Возрождения, азартных игр, послуживших в XVII в. источником первых теоретико-вероятностных проблем. Можно ли предположить, что, сумей какой-либо любитель азартных игр в античности или в средневековье (вроде вошедшего в историю теории вероятностей кавалера де Мере) привлечь внимание крупных математиков своего времени к задачам на разделение ставки, наука о случайном могла бы возникнуть намного раньше, чем это произошло на самом деле? Подобное предположение нельзя отметать с порога и потому, что для античности характерно пристальное внимание к проблемам необходимости и случайности, возможности и действительности.

В целом философско-методологические представления, так или иначе связанные с теоретико-вероятно-

[3] Цит. по: *Майстров Л.Е.* Развитие понятия вероятности. М., 1980. С. 56.

[4] См.: *Юшкевич А.П.* Биография Якоба Бернулли // Бернулли Я. О законе больших чисел. М., 1985. С. 157. Цит. по: *Майоров Л.Е.* Развитие понятие вероятности. М., 1980. С. 56.

стными рассуждениями, их значимостью и статусом, можно разделить на три большие группы. Первая группа представлений — назовем их онтологическими — отвечает на вопросы о природе случайного, его месте в структуре реальности, о взаимоотношении случайного и необходимого. Вторая группа представлений отвечает на вопросы теоретико-познавательного характера (гносеологические представления; возможно ли, и если да, то при каких условиях достижение абсолютно достоверного знания? Имеет ли ценность для науки и философии знание, не обладающее абсолютной достоверностью? Каков статус так называемого вероятного знания?). Третья группа представлений — методологические представления — связана с характеризацией самой теории вероятностей, выявлением ее места в системе научного знания, определением ее предмета, критериев истинности теоретико-вероятностных утверждений и т. п.

Можно показать, что именно отличия гносеологических представлений, господствовавших в античности, от тех, которые возникали в рамках философии и науки Нового времени, позволяют понять причины как отсутствия науки о случайном в античности (и средневековье), так и ее возникновения и бурного развития в XVII – XVIII вв.

Как известно, для античной философской традиции была характерна принципиальная дихотомия между знанием (episteme) и мнением (doxa). При этом под знанием понималась система абсолютно достоверных (истинных) утверждений, доказанных по образцу евклидовой геометрии (с соблюдением требований евклидовой строгости — все утверждения должны быть выведены из очевидных аксиом). Достижение достоверного знания, описывающего ту или иную область материи или духа, объявлялось единственной целью науки. За рассуждениями же, которые не удовлетворяли критериям доказательства геометрического типа, не признавали статуса научности. Выводы, основанные на таких рассуждениях, относили к разряду мнения. Согласно Аристотелю, «предмет знания и знание отличаются от предмета мнения и от мнения, ибо знание направлено на общее и основывается на необходимых [положениях]; необходимое же есть то, что не может быть иначе. Многое же, хотя и истинно и существует, но может быть иным. Ясно поэтому, что о нем нет науки»[5].

Очевидно, что в рамках такой гносеологической позиции невозможно представить себе возникновение науки о случайном, ибо оно не есть то, «что не может быть иначе». Это справедливо даже в том случае, если случайности придается статус объективного существования, что, как известно, имело место у Аристотеля.

Именно Аристотель, как никто другой, убеждает нас в том, что в условиях господства античных гносеологических представлений о достоверности знания становление теории вероятностей как науки было в то время в принципе невозможным. Признание объективности случая не могло навести Аристотеля на мысль о необходимости науки о случайном потому, что он резко «противопоставил логику истины, свойственную теоретическому знанию, логике вероятного и правдоподобного, присущей случайным спорам и обыденной практике»[6]. «О случайном, или преходящем, — писал Стагирит, — нет знания через доказательство... Если случайное... не есть ни то, что бывает большей частью, ни необходимое, то для него не может быть доказательства»[7].

Средневековая европейская философия, основывавшаяся на теологически переработанной концепции Аристотеля, также не допускала возможности существования знания, не обладающего чертами абсолютной достоверности, завершенности, окончательности. Соответственно этому и в средние века случайность, вероятность не стали объектом научного исследования, несмотря на то, что в трудах схоластов нашли место интересные философские рассуждения о природе случайного.

Любопытно, что в средние века (начиная с X—XI вв.) в связи с распространением азартных игр с использованием игральных костей в различных рукопи-

[5] *Аристотель.* Соч.: В 4 т. М., 1978. Т. 2. С. 312.

[6] *Вернан Ж.-П.* Происхождение древнегреческой мысли. М., 1988. С. 69.

[7] *Аристотель.* Соч.: В 4 т. Т. 2. С. 308—309.

сях встречаются подсчеты количества различных исходов при их бросании. Более того, в 1494 г. в Венеции был издан труд Луки Пачоли (1445 — ок. 1514 г.) «Сумма знаний по арифметике, геометрии, отношениям и пропорциональности», в котором рассматриваются, в частности, задачи о справедливом разделе ставки между двумя игроками, когда игра прервана до того, как один из играющих выиграл определенное число партий или очков согласно условиям игры. Однако в отличие от Паскаля и Ферма, рассматривавших подобные задачи в XVII в., Пачоли пытался решать их без использования вероятностных соображений (позднее предложенные им решения были признаны неверными)[8].

Таким образом, задачи, решение которых в XVII в. привело к возникновению теории вероятностей, в условиях отсутствия соответствующих гносеологических предпосылок не сыграли той роли, которую им предстояло сыграть позднее. Более того, гносеологический пласт философско-методологических представлений о случайном препятствовал возникновению науки о случайном — теории вероятностей.

Но за счет чего был преодолен этот круг? Как показывает анализ, прежде всего вследствие вполне определенных социокультурных и соответствующих им метафизических метаморфоз.

«Новый Органон» Бэкона в качестве новой гносеологической позиции, противостоящей перипатетизму, не снимал противопоставления «знание — мнение» в аристотелевском смысле. Однако у Бэкона нет пропасти между episteme и doxa. Напротив, достижение абсолютно достоверного знания «форм» связывается Бэконом с постепенным преобразованием данных опыта из области мнения в сферу знания посредством разработанных им процедур индуктивного метода. Исследовательская программа Бэкона стала методологической программой созданного в 1660 г. Британского Королевского общества.

Однако на пути реализации указанной программы члены Королевского общества столкнулись со

[8] См.: *Майстров Л.Е.* Развитие понятия вероятности. С. 28—29.

значительными трудностями. Дело в том, что исследовательская практика постоянно демонстрировала и убеждала ученых в том, что максимально достижимый результат в опытном естествознании — это хорошо обоснованная гипотеза. Конечно, в дальнейшем эта гипотеза может уточняться за счет привлечения новых фактов, степень ее обоснованности может повышаться, но при этом, однако, она никогда не может достичь уровня достоверности в аристотелевском смысле. Из этой ситуации могло быть два выхода: 1) пойти по пути, указанному скептиками, и воздержаться от квалификации научных суждений как безусловно достоверных или 2) переосмыслить само понятие достоверности. Члены Королевского общества выбирают второй путь.

Надо отметить, что на становление вероятностной гносеологии членов Королевского общества существенное влияние оказали, как это ни покажется неожиданным, философско-методологические воззрения Декарта[9]. В свете принципиальных отличий декартовского рационализма от английского эмпиризма сам факт упомянутого влияния как нельзя лучше характеризует торжество вероятностной гносеологии XVII — начала XVIII в.

Согласно Декарту, абсолютно достоверное знание возможно лишь о том, что полностью подчинено сознанию. Это — знание, удовлетворяющее критериям ясности и отчетливости для разума и ограниченное пределами, во-первых, математики (в частности, созданной Декартом аналитической геометрии) и, во-вторых, метафизическими истинами типа cogito ergo sum. Физический же мир, по Декарту, недоступен для абсолютно достоверного познания. Физическое познание, убежден Декарт, — это сфера более или менее вероятных гипотез, следствия из которых, конечно, должны хорошо согласовываться с опытом, однако последнее не гарантирует их абсолютной истинности. Предельно

---

[9] См.: *Lauden L.* The clock methaphor and probabilism: The impact of Decartes in English methodological thought. 1650—1665. Annals of science. L., 1966. Vol. 22. N 1. P. 93—104.

достижимый уровень достоверного в сфере опытного естествознания — это уровень моральной достоверности, «достаточный для того, чтобы управлять нашими нравами при равной достоверности вещей, в которых мы обычно не сомневаемся, касательно правил нашего поведения, хотя и знаем, что в смысле абсолютном эти правила могут быть и неверны»[10]. Любопытно, что Р. Бойль, находившийся под влиянием идей декартовского гипотетизма, полагал, что моральная достоверность достижима на пути согласования или соединения нескольких вероятных суждений[11].

Проблемы сравнения гипотез по их большей или меньшей вероятности, оценки вероятности гипотезы, полученной на основе соединения или согласования двух или нескольких вероятных гипотез, численной оценки вероятности морально достоверной гипотезы, поставленные в связи со становлением новой, вероятностной гносеологии, настоятельно требовали создания, с одной стороны, соответствующего математического аппарата для необходимых вычислений и, с другой стороны, построения основ новой, вероятностной логики научного познания. Необходимость создания вероятностной логики вскоре была зафиксирована Лейбницем, также испытавшим существенное влияние картезианства. «Я уже не раз говорил, — писал Лейбниц в "Новых опытах о человеческом разумении...", — что нужен новый раздел логики, который занимался бы степенями вероятности, так как Аристотель в своей "Топике" ничего не дал по этому вопросу»[12].

Таким образом, для создания вероятностной логики оказалось необходимым возникновение математической науки об «оценке случайностей», или исчисления (теории) вероятностей. Просто и ясно сформули-

---

[10] *Декарт Р.* Избранные произведения. М., 1950. С. 541.

[11] Подробнее о становлении вероятностной гносеологии Нового времени см.: *Косарева Л.М.* Вероятностная концепция естественно-научного знания в гносеологии XVII века // Современные исследования по истории и методологии науки. М.: ИНИОН,1987.

[12] *Лейбниц Г.В.* Соч.: В 4 т. М., 1983. Т. 2. С. 479.

рованные и в то же время достаточно содержательные (в свете целей исчисления вероятностей) задачи, связанные с азартными играми, стали отличными стартовыми проблемами для становления новой теории.

Отметим, что вероятностный круг был в некотором смысле невидим для античных математиков, ибо они не осознавали в этом отношении какого-либо запрета или ограничения, препятствующего их научным исследованиям. Социокультурные и философские основания теоретического знания в эпоху античности во многом предопределили невозможность появления не только какихлибо вероятностных понятий, но и вообще каких-либо научных проблем, при решении которых такие понятия могли понадобиться. Другими словами, ни одному из античных математиков и в голову не могло прийти рассматривать какую-либо проблему, включающую какиелибо аспекты понятия «случайного».

С другой стороны, возникновение именно вероятностной гносеологии в Новое время, ее резонанс с социокультурным контекстом той эпохи существенным образом подтолкнуло математиков того времени к разработке необходимого математического аппарата для создания казавшейся им крайне необходимой — вероятностной логики. Более подробно история возникновения и развития вероятности рассмотрена в главе «Философские проблемы теории вероятностей».

Круг второй: «Математические науки чужды движению, за исключением тех, которые относятся к астрономии»

За этими словами Стагирита стоит более фундаментальное представление, если угодно, более фундаментальный метафизический круг, существенно ограничивавший античное математическое мышление. Речь идет о признании фундаментальных различий физического и математического существования, физического и математического мышления. Физические объекты могут изменяться (в частности, находиться в движении), оставаясь при этом самими собой, математические же объекты существуют в дискретном пространстве состояний, более точно, каждый из математических объектов тождественен своему единственному и уникальному состоянию, которое в принципе не может быть подвержено какому-либо изменению[13]. Ясно, что никакого представления о переменной величине любой природы (арифметической или геометрической) в античности просто не могло возникнуть. Кроме того, несмотря на наличие собственно математических предпосылок, вряд ли возможно было возникновение чего-то подобного теории геометрических преобразований (движений). Греческие математики знали о возможности доказательства теорем с помощью движения и наложения (вспомним хотя бы про теоремы, доказанные Фалесом). Движения и наложения использовались даже в «Началах», однако можно вполне определенно утверждать, что Евклид старается избегать этого там, где это только возможно. И хотя с современной точки зрения решение проблемы об удвоении куба Архитом Терентским с помощью так называемых механических приспособлений (а на самом деле с помощью представлений о непрерывном преобразовании геометрических объектов) является вполне приемлемым, греческие математики в большинстве своем были на стороне Платона, высмеивавшего подобные доказательства, отказывая им в принадлежности к математике. Здесь следует отметить, что данный круг, по-видимому, не имел значения для доплатоновской (может быть, допифагорейской) математики. Но затем, несмотря на его чисто метафизическую природу, он стал осознаваться математиками как один из аспектов требований строгости математических рассуждений, отступление от которых являлось крайне нежелательным. Таким образом, в отличие от вероятностного круга, круг № 2 оказался более укорененным в математике, что обусловило значительные трудности в процессе его преодоления. В свете сказанного можно на основании чисто умозрительных соображений

[13] Полагаем, что это представление разделяли многие математики античности, которые вряд ли вдавались в более изощренные метафизические различения Аристотеля или Платона.

встать на точку зрения тех историков науки, которые отрицают факт существования так называемой «античной геометрической алгебры». Построение алгебры предполагает представление о возможности преобразования (трансляции) одних величин в другие. Но круг № 2 отрицал такую возможность для математических величин. Появление же алгебры в рамках «арабской» математической традиции следует объяснять, по-видимому, принципиально иным метафизическим и социокультурным контекстом (данная проблема заслуживает специального и тщательного исследования).

Другой характерный пример. Со времени открытия Менехма античные математики понимали, что при пересечении конуса плоскостями под различными углами наклона последовательно появляются все конические сечения. Однако это не могло служить основанием для объединения данных кривых в один род. В своем трактате о конических сечениях Апполоний, стараясь дать единые доказательства ряда общих свойств (разумеется, далеко не всех) конических сечений, пользуется соображениями, связанными с так называемым методом площадей, а не с представлениями о преобразовании этих геометрических образов друг в друга. (Здесь, разумеется, стоит упомянуть и о третьем круге античной математики («Актуально бесконечного не существует»), о котором будет идти речь ниже. Не случайно Харди, говоря о проективной геометрии Дезарга, отмечал, что она знаменует первое в истории введение актуальной бесконечности в математику. Ведь именно введение бесконечно удаленных точек и прямых позволило Дезаргу говорить о непрерывном изменении геометрических образов, возникающих при пересечении конуса плоскостью под разными углами наклона.)

Оборотной стороной данного метафизического круга был принципиально качественный характер физики Аристотеля. Поскольку «математические науки чужды движению», движение не может быть описано с использованием математики (небесные движения занимают особое, уникальное положение, поэтому для астрономии греческая наука делает исключение).

Преодоление данного круга (в европейской математической традиции) начинается в позднем средневековье с попыток сближения математического и физического существования. Имеется в виду прежде всего философско-математическая деятельность мыслителей Оксфордского и Парижского университетов. Именно в Оксфорде Р. Гроссетест и Р. Бэкон впервые в средние века настаивают на необходимости математизации физического знания, при этом существенно отходя от античной (пифагорейско-платоновской) традиции, выдвигая принципиальной важности идею количественной структуризации античных натурфилософских представлений о движении. В том же направлении развиваются исследования и в Сорбонне. «Английские (Т. Брадвардин, Р. Суайнсхед и др.), а также французские (особенно Н. Орезм) ученые XIV в., — отмечал А.П. Юшкевич, — предпринимают смелую попытку подвергнуть с помощью инфинитезимальных идей квантификации квалитативную в своей основе натурфилософию перипатетиков. Прежде всего — и это оказалось особенно важным для дальнейшего — по-новому осмысливаются те разделы "Физики" Аристотеля, в которых рассматриваются соотношения между силой и движением, силой и сопротивлением; иными словами, перестраивается перипатетическая механика; вслед за тем математическому рассмотрению подвергаются любые виды изменения непрерывных, а частью и кусочно-разрывных измеримых величин или, в терминологии перипатетиков, интенсификации — усиления и ремиссии — ослабления всякого рода "форм" или качеств — теплоты, цвета и т. д., но также доброты, греховности и т. п., переменная интенсивность которых зависит от их экстенсивности — распределения интенсивностей на конечных или бесконечных интервалах в пространстве либо времени. К категории форм относится и простейшее механическое движение, т. е. пространственное перемещение»[14]. Таким образом, средневековые ученые преодолевают пропасть, лежащую между математикой

[14] *Юшкевич А.П.* Биография Якоба Бернулли // Бернулли Я. О законе больших чисел. С. 61–62.

и естествознанием, преодолевают круг, во власти которого находилось античное мышление. Математика в их представлении не описывает лишь мир вечных и неизменных чисел и геометрических форм, а также и небесных движений; она способна внести свой вклад в понимание закономерностей «форм» изменяющихся. Иными словами, в новом социокультурном контексте математика низвергается с пьедестала «вечности», уступая место теологии, толкующей о действительно вечном и абсолютном. От этого, с одной стороны, выигрывает естествознание, разумеется не сразу, но предпосылки математического естествознания закладываются уже тогда. Достаточно упомянуть, что в Оксфорде и Париже «формируется идея о переменности — течении (fluxus) величин, о мгновенных скорости и ускорении, для которых вводятся соответствующие, даже латинские, термины и в совершенно отвлеченном, не связанном с физикой плане, доказывается основной закон и другие свойства равномерно ускоренного движения»[15]. И, с другой стороны, что для нас особенно важно, допуск в математику представлений об изменении, движении способствует преодолению кругов невидимых, но властных, препятствовавших самой возможности появления математики, имеющей дело с изменяющимися, перетекающими друг в друга, переменными величинами. Преодоление метафизических представлений, принципиально разводящих математическое и естественнонаучное (механическое и физическое) мышление, приводит в конце концов к становлению эмпиристской философии математики, ставшей краеугольным камнем нового метафизического круга, долгое время препятствовавшего, в частности, появлению и признанию неевклидовых геометрий. В то же время радикальный отказ от эмпиристской философии математики привел к образованию очередного круга, в рамках которого современная математика находится и поныне.

Здесь следует указать на принципиальные различия в преодолении кругов, доставшихся в наследство

[15] *Юшкевич А.П.* Биография Якоба Бернулли // Бернулли Я. О законе больших чисел. С. 62.

от античности (круги № 1 и № 2) и «эмпиристского» метафизического круга. В первых двух случаях именно изменения социокультурного и метафизического контекста (процесс, происходивший независимо от развития математики) освобождали математическое мышление от невидимых, но властных ограничений. Эмпиристские же запреты преодолеваются изнутри самой математики, вследствие, в частности, построения интерпретаций непривычных неевклидовых образов на евклидовых объектах, а также понимания того, что новые математические образы оказываются чрезвычайно полезными при решении математических проблем, возникших независимо от новых понятий и концепций. То же самое происходило (и происходит сейчас), когда антиэмпиристский круг местами рвался под натиском математического мышления, изобретательно, но незаконно пользовавшегося физическими соображениями. Правда, как правило, строгие приверженцы математической нравственности восстанавливали статус-кво (вспомним, например, деятельность ученика Вейерштрасса Шварца, давшего строгое обоснование незаконнорожденному «принципу Дирихле», а также обобщенные функции Дирака и Хевисайда, получившие вскоре после своего появления законный математический статус). Сам факт поиска таких оправданий свидетельствует о прагматизме математиков нового и новейшего времени, принципиально чуждом математикам античности (достаточно сравнить осторожные высказывания Архимеда по поводу квадрирования криволинейных фигур и прагматизм ученых, отраженный в словах Даламбера по поводу нестрогих инфинитезимальных методов: «Идите вперед, уверенность придет потом!»). И даже в более поздний период преобладания антиэмпиристской философии математики использование официально запретных способов рассуждения в математике не прекращается. Более того, в последние годы Э. Виттен с помощью интегралов Фейнмана совершенно удивительным образом находит новые инварианты для трехмерных многообразий и т. д. Безусловно, в будущем интегралы Фейнмана будут формализованы, но сейчас их использование требует огромной физической интуиции и опыта. Ю.И. Манин пишет по этому поводу: «В предыстории интегрального исчисления важное место занимает замечательный труд Кеплера "Стереометрия винных бочек". Интегралы, выражающие объемы тел вращения, полезных в народном хозяйстве, были вычислены в этой работе до появления общего определения интеграла. Математическая теория великолепных интегралов Фейнмана, которые физики пишут в огромных количествах, все еще недалеко ушла от стереометрии винных бочек. С точки зрения математики каждое такое вычисление есть заодно определение того, что "вычисляется", либо построение текста в формальном языке, грамматика которого заранее не описана. В процессе таких вычислений физик спокойно делит или умножает на бесконечности (точнее, на нечто, что, если бы оно было определено, оказалось бы бесконечным); суммирует бесконечные ряды бесконечностей, предполагая при этом, что 2—3 члена ряда дают хорошее приближение ко всему ряду, и вообще живет в царстве свободы, нарушая все "моральные нормы"[16]. Но можно ли в таком случае утверждать, что статус социокультурных и метафизических кругов начиная со второй половины XIX в. радикально изменился? Можно ли сказать, что они потеряли былую жесткость и непререкаемость в глазах математического сообщества? Для того чтобы прояснить эту ситуацию, обратимся к третьему из указанных в начале статьи кругов.

Круг третий: «Актуально бесконечного не существует»

Аксиома Евдокса об «архимедовых» величинах («Говорят, что величины имеют отношение между собой, если они, взятые кратно, могут превзойти друг друга»[17]) предназначена не только для легализации отношений между несоизмеримыми отрезками, но также и для того, чтобы исключить из математики как актуально бесконечно ма-

[16] *Манин Ю.И.* Математика и физика. М., 1980. С. 59.
[17] *Евклид.* Начала. М.; Л., 1948. С. 142.

лые, так и бесконечно большие величины. Таким образом, в лице Евдокса, греческая математика сознательно ограничивает множество объектов, оперирование с которыми является допустимым. Другими словами, данный круг возникает изнутри математики в качестве средства, позволявшего застраховаться от парадоксов бесконечного, возможность появления которых для греческих математиков стала очевидной в свете апорий Зенона Элейского. Одними из наиболее интересных объектов, оставшихся за границами этого круга, были роговидные углы. Поскольку роговидные углы (например, угол, образованный окружностью и касательной к ней) меньше любого, сколь угодно малого прямолинейного угла, постольку они оказались под запретом, несмотря на то, что греческим математикам были известны ряд их свойств. Особенность данного круга как раз и состоит в его совершенно отчетливой осознанности математиками-профессионалами, что вело к использованию «запретных объектов» и связанных с ними рассуждений в качестве эвристического средства получения новых результатов. Подчеркнем, что истинность полученных «незаконным» путем результатов не подвергалась сомнению. Доказательство в этих случаях было равносильно соблюдению необходимых формальностей, поскольку оперирование (не только в качестве эвристического средства, но и в контексте обоснования) актуально бесконечно малыми (неделимыми), впервые имевшее место в «любительских» с точки зрения математика-профессионала работах Демокрита, считалось признаком дурного тона. При этом статус инфинитезимальных рассуждений оценивался выше тех, которые основывались на «механических» аналогиях, поскольку выход за пределы круга № 3 не выводил за пределы математики (в отличие от выхода за пределы круга № 2), хотя мог признаваться допустимым лишь в контексте открытия новых фактов, но никак не в контексте их обоснования. Заметим, что круг № 3, сформировавшийся, как уже было отмечено, внутри самой математики (в отличие от круга № 2, имевшего метафизическую природу, и круга № 1, сформированного сочетанием метафизических и социокультурных предпосылок), прекрасно вписывался в социокультурный контекст развития античной математики и, разумеется, подпитывался этим контекстом. Об этом ярко, хотя и далеко не всегда корректно, писал в свое время О. Шпенглер. Однако изменение социокультурного контекста отнюдь не вело автоматически к преодолению этого круга в развитии математики (как это было с «вероятностным» кругом). «Я протестую... — писал Гаусс Шумахеру, — против пользования бесконечною величиною как завершенною, что в математике никогда не позволено. Бесконечность есть лишь некий façon de parler [способ выражаться], причем в действительности имеют в виду границы, к которым определенные отношения подходят как угодно близко, в то время как другим запрещается расти без ограничения»[18]. О глубокой укорененности в математике инфинитезимального круга (особенно той его части, которая относится к актуально бесконечно малым), существовавшего в течение достаточно долгого периода времени практически независимо от изменений, происходивших в социокультурном и метафизическом контексте развития математики, очень красноречиво свидетельствуют колебания Галилея, которыми он делится как в своих опубликованных работах, так и в письмах к своему знаменитому ученику Кавальери. Как считает П.П. Гайденко, Галилей фактически пользуется представлением об актуально бесконечно малых в своей механике. Так, говоря о причине сопротивляемости некоторых материалов разрыву, Галилей упоминает о мельчайших пустотах, замечая, что «хотя эти пустоты имеют ничтожную величину и, следовательно, сопротивление каждой из них легко превозмогаемо, но неисчерпаемость их количества неисчислимо увеличивает их сопротивляемость»[19]. Как не без оснований считает П.П. Гайденко, «неисчислимость количества ничтожно малых пустот — это в сущности бесконечное множество бесконечно малых, можно сказать, пустот, а можно сказать, сил сопротивления. Потом окажется, что этот метод суммирования бесконечно малых — неважно чего: моментов времени, частей пространства, моментов движения и т. д. — является универсальным и необычайно плодотвор-

[18] Цит. по: *Пуркерт В., Ильгаудс Х.И.* Георг Кантор. Харьков, 1991. С. 31.

[19] *Галилей.* Избранные труды: В 2 т. М., 1964. Т. 2. С. 131.

ным инструментом мышления»[20]. Говоря о новых возможностях, открывающихся перед мышлением, принимающем понятие актуально бесконечно малого (он не просто говорит о возможностях применения этого понятия, но реализует эти возможности, вводя, например, понятие о мгновенной скорости), Галилей осознает парадоксальность природы неделимых. Это приводит его к колебаниям относительно вопроса о возможности допущения актуально бесконечно малых (неделимых) в математику. И хотя в «Беседах о математических доказательствах» Галилей не отрицает этой возможности, позднее, когда Кавальери создает свою геометрию неделимых, он высказывается против представлений своего ученика. «Хотя письмо Галилея к Кавальери и не сохранилось, но по некоторым высказываниям самого Галилея и по ответу Кавальери на письмо Галилея можно судить о том, что именно понятие суммы бесконечно малых Галилей считал теоретически несостоятельным»[21]. И действительно, хотя в целом философия науки Галилея была бесконечно далека от представлений Аристотеля, мы видим, что Галилей, подобно Стагириту, настаивает на необходимости для математиков оставаться в рамках инфинитезимального круга. «Бесконечность, — писал Галилей в одной из своих работ, — должна быть вовсе исключена из математических рассуждений, так как при переходе к бесконечности количественное изменение переходит в качественное, подобно тому, как если мы будем самой тонкой пилой... размельчать тело, то как бы мелки ни были опилки... каждая частица имеет известную величину, но при бесконечном размельчении получится уже не порошок, а жидкость, нечто качественно новое, причем отдельные частицы вовсе исчезнут»[22]. Одним из доводов Галилея против признания актуально бесконечно малых в математике было его убеждение в том, что различные бесконечные множества не могут находиться между собой в каком-либо из отношений (равенства, больше, меньше), ибо это приводит к неустранимым парадок-

[20] *Гайденко П.П.* Эволюция понятия науки (XVII—XVIII вв.) М., 1987. С. 73.

[21] Там же. С. 135.

[22] Цит. по: *Кавальери Б.* Геометрия, изложенная новым способом при помощи неделимых непрерывного. М.; Л., 1940. С. 37.

сам. Но для Кавальери, стоявшего перед проблемами нахождения площадей и объемов, эта парадоксальность неделимых постулируется и закрепляется в качестве основополагающего положения. «Я решился признать тот факт, — отвечал на письмо Галилея Кавальери, — что одно бесконечное может быть больше другого, за прочнейшее основание геометрии»[23]. Таким образом, пользуясь парадоксальным представлением об актуально бесконечно малом в механике, Галилей не соглашался с подобным прагматическим компромиссом в математической концепции Кавальери. Даже Г. Кантор (в конце XIX в. (!) подчеркивал, что к идее введения актуальной бесконечности в математику он пришел почти против своей воли, вступая в конфликт с ценными для него традициями. Изучая свойства тригонометрических рядов, он обнаружил, что понятия предельной точки и иррациональных чисел требуют введения и использования совершенно новых и непривычных представлений — так он пришел к общему понятию и классификации бесконечных множеств (вновь «прагматические» соображения являются существенным фактором преодоления ограничений!). Именно укорененностью «инфинитезимального» круга в самой математике (относительно независимо от социо-культурного контекста) можно объяснить не только длительный период игнорирования идей проективной геометрии (от пионерских работ Дезарга и Паскаля в XVII в. до появившихся лишь в XIX в. работ Понселе), но и настолько чрезвычайно яростную, насколько и ничем логически не обоснованную атаку самого Кантора на ученых, пытавшихся ввести в математику актуально бесконечно малые величины. В письме Виванти от 13 декабря 1893 г. он называет их «инфинитезимальными бациллами холеры в математике», бумажными величинами, не обладающими «никаким другим существованием, кроме как на бумаге, исписанной их открывателями и приверженцами»[24], добавляя, что место этих величин — в корзине для бумаг. Более того, основываясь на теории порядковых чисел, Кантор пытался дока-

[23] Цит. по: *Кавальери Б.* Геометрия, изложенная новым способом при помощи неделимых непрерывного. С. 46.

[24] Там же. С. 67.

зать, что актуально бесконечно малые не могут существовать в принципе. Об абсолютной нелогичности этой деятельности Кантора свидетельствуют следующие слова Цермело: «Несуществование "актуально бесконечно малых величин" недоказуемо в той же мере, как и несуществование канторовских трансфинитов, и в обоих случаях ошибочное умозаключение одно и то же; оно состоит в том, что новым величинам приписываются некоторые, не могущие быть присущими им, свойства обычных "конечных величин"»[25]. Любопытно, что сам Кантор задолго до Цермело, используя практически те же аргументы, убедительно показывал тщетность попыток доказательства невозможности существования актуально бесконечно больших чисел, не замечая, что эти же доводы показывают тщетность его собственных усилий относительно доказательства абсурдности актуально бесконечно малых. «Все так называемые доказательства абсурдности актуально бесконечных чисел ошибочны, — писал Кантор, — как может быть показано в каждом отдельном случае и вытекает также из общих соображений. Причина заключается главным образом в том, что в этих доказательствах стоящим под вопросом числам заранее приписываются, а точнее — навязываются все свойства конечных чисел, в то время как, наоборот, бесконечные числа, если они вообще мыслимы в какой-либо форме, вследствие их противоположности конечным числам должны образовать совершенно новый род чисел, строение которого целиком зависит от природы вещей и является предметом исследования, но не нашего произвола или нашей предубежденности»[26]. К чести Кантора следует отметить, что позднее (о чем свидетельствует сравнительно недавно обнаруженное письмо к Лассвицу) Кантор «отказался от категоричности своего прежнего мнения и допустил возможность того, что в дальнейшем исследователям удастся дать строгое определение бесконечно малых величин»[27]. Однако вряд ли обосновано предположение, что это мнение Кантора, будь

[25] Цит. по: *Кавальери Б.* Геометрия, изложенная новым способом при помощи неделимых непрерывного. С. 67—68.

[26] Там же. С. 67.

[27] *Пуркерт В., Ильгаудс Х.И.* Георг Кантор. С. 68.

оно высказано в одной из его печатных работ, нашло бы поддержку, достаточную для признания концепций, появившихся в конце XIX в., о которых в первой четверти XX в. известный историк математики Г. Вилейтнер счел необходимым заметить следующее: «И действительно, Веронезе (G. Veronese) в 1894 г. ...построил вполне последовательную систему бесконечно малых величин различных порядков. Еще раньше этого (Гальфен, Halphen, 1877) бесконечно малые различных порядков элементы кривой с успехом применялись в теории особых точек алгебраических кривых. Однако дух времени не благоприятствовал, да и сейчас не благоприятствует такого рода исследованиям»[28]. Пытаясь объяснить факт непризнания упомянутых концепций, Вилейтнер отмечает: «Причина лежит в том, что математика, начиная с Вейерштрасса (1860), стала на путь все усиливавшейся "арифметизации". Иными словами, она отказывается от геометрической наглядности и во имя полной строгости заковывает себя в логически безупречную арифметическую форму»[29]. Несомненно, факт арифметизации анализа, а также стремление ученых оставаться в рамках строгости, заданной эталонными работами Вейерштрасса, трудно переоценить. Однако нельзя не отметить, что введение в математику актуально бесконечно малых сдерживал тот самый круг № 3 («инфинитезимальный круг»), который был настолько глубоко укоренен в самой математике, что даже изменение социокультурного и метафизического контекстов не означало его автоматического преодоления (как это было с «вероятностным кругом», имевшим внешние по отношению к математике характер и происхождение). Как уже отмечалось, его частичное преодоление в работах Кантора было обусловлено прежде всего прагматическими соображениями (настоятельной необходимостью введения общего понятия и классификации бесконечных множеств в связи с его исследованиями тригонометрических рядов). Заметим здесь же, что у Кантора были схоластические предшественники, рассуждавшие о равенстве или неравенстве бесконеч-

---

[28] *Вилейтнер Г.* Как рождалась современная математика. М.; Л., 1927. С. 109.

[29] Там же. С. 109—110.

ных последовательностей, причем равенство фактически определялось через взаимно однозначное соответствие. При этом все они придерживались представления о числе как совокупности единиц. Именно это представление подпитывало формирование инфинитезимального круга в античности, и средневековые ученые, естественно, разделяли его. Но определяющим для них было убеждение в самопротиворечивости актуальной бесконечности. Поэтому опыт установления взаимно однозначных соответствий, выявление способности бесконечных множеств стоять во взаимно однозначном соответствии со своим подмножеством использовалось средневековыми мыслителями в качестве еще одного подтверждения этого фундаментального убеждения. В частности, Дунс Скот отмечал, что если рассматривать отрезок как актуально бесконечную совокупность его составляющих точек, то придется согласиться с равенством таких, например, отрезков, как сторона и диагональ квадрата, что, по его мнению, абсурдно. Подобные примеры приводит в своем трактате о континууме и Брадвардин, отмечая, что представление о континууме, составленном из неделимых (т. е. из точек), приводит к неразрешимым парадоксам. В отличие от своих схоластических предшественников, перед Кантором стояли конкретные математические проблемы, необходимость решения которых толкала его к выходу за пределы привычных представлений. Поэтому он использует известные схоластам конструкции не для демонстрации самопротиворечивости актуально бесконечного, а для констатации необходимых ему свойств актуально бесконечных множеств. Последующие метафизические и методологические обоснования законности операций с актуально бесконечными объектами выглядят у Кантора скорее лишь как ad hoc аргументы, что косвенно подтверждается упомянутым фактом резкого неприятия создателем наивной теории множеств актуально бесконечно малых величин. И лишь с появлением нестандартного анализа А. Робинсона (60-е гг. XX в.) начался процесс окончательного преодоления инфинитезимального круга, связанный с достижением полной уверенности в том, что средствами нестандартного анализа можно получить все теоремы, справедливые в рамках классического анализа, нисколько не нарушая при этом общепринятых норм строгости математических доказательств.

Как известно, А. Робинсон, используя достижения современной математической логики и в значительной мере созданной им самим теории моделей, построил свой нестандартный анализ на основе введения системы гипердействительных чисел, включающих в себя «стандартные» действительные числа и актуально бесконечно малые, которые определяются у него в духе Лейбница. А именно: положительное бесконечно малое есть число, которое меньше любого действительного числа, но больше нуля, а отрицательное бесконечно малое — это число, большее любого отрицательного действительного числа, но меньшее нуля. В то время как математики XVII – XIX вв. считали, что поскольку актуально бесконечно малые не удовлетворяют аксиоме Архимеда и, следовательно, не могут быть приняты как полноправные математические объекты, Робинсон сознательно поставил себя вне рамок инфинитезимального круга, обретя, пользуясь метафорой Гротендика, первоначальную невинность, наделившую его реформаторской властью. При этом Робинсон исходил из того, что хотя, в отличие от эпсилон-дельта формализма, интуитивные представления Лейбница, братьев Бернулли и Эйлера не получили в свое время строгого обоснования, полученные ими на основе этих представлений результаты выдержали испытание временем. И не случайно, что сам Робинсон рассматривал свою деятельность не только как продолжающую традиции инфинитезималистов XVII – XIX вв., но даже как оправдание и объяснение их представлений и методов. Важно и то, что непосредственно в процессе разработки нестандартного анализа Робинсон не преследовал каких-либо прагматических целей, т. е. не имел в виду необходимость решения тех или иных конкретных математических проблем. Более того, создается впечатление, что, работая над созданием теории моделей, Робинсон уже имел программу преодоления инфинитезимального круга, возникшую во многом в процессе тщательного изучения истории классического анализа (первые самостоятельные научные результаты были получены Робинсоном в области гидро- и аэродинамики)[30]. Несомненно, что преодоление данного круга облегчалось для Робинсона тем, что его укорененность в математике не подпитывалась социокультурным или метафизическим контекстами развития математики. Более того, формалистская философия математики, на позиции которой Робинсон перешел (будучи ранее платоником) в процессе разработки нестандартного анализа, стимулирует подобные исследования. Тем не менее наличие жесткой критики нестандартного анализа как «формального ухищрения» и «унижения смысла»[31] намекает на существование других кругов, невидимых, но властных, которые ограничивают горизонт современной математики, подобно тому, как это происходило практически на всех предшествующих этапах ее развития[32].

Круг четвертый: «Геометрия – наука о реальном пространстве»

Геометрия — одна из самых фундаментальных и древних наук. Ее возникновение относят к 3-му тысячелетию до н. э., а первый дошедший до нас письменный источник геометрических знаний (папирус древнеегипетского математика Ахмеса) датируется 20 в. до н. э. Археологические данные и историческая реконструкция культуры древнего мира показывают, что геометрические знания существовали в той или иной мере во всех древних цивилизациях (Индии, Китае, Вавилоне, Египте и др.).

---

[30] Е.В. Зайцев заметил, что потребность в строгом обосновании операций с актуально бесконечно малыми величинами достаточно естественна для ученого, имеющего богатый опыт исследований в области гидро- и аэродинамики.

[31] *Bishop E.* The crisis in conteprorary mathematics // Historia mathematica. 1975. N 2. P. 513–514.

[32] В настоящей статье метафора «круга» использовалась для обоснования «ограничительного» характера социокультурного и метафизического контекстов развития математики. Разумеется, значение этих контекстов не сводится к налагаемым ими ограничениям. Для характеристики его конструктивной роли можно, например, использовать куновское понятие «парадигмы». Впрочем, сам Т. Кун, кажется, не применял это понятие для описания развития математики.

Возникновение таких знаний объясняется довольно просто: необходимостью решения все более усложнявшегося множества практических и социальных проблем развивающихся цивилизаций. Это проблемы точного измерения расстояний, длин, площадей и объемов различных предметов, сравнения их по величине и последующего использования этого знания в строительстве, архитектуре, торговле, сельском хозяйстве, астрономии, религиозной практике, а также в быту. Возникнув из непосредственных потребностей практики, как прямой ответ на ее запросы, геометрия и по природе своего происхождения, и по способу обоснования могла быть только эмпирическим знанием. А точнее, древневосточная геометрия была специфическим когнитивным техноискусством вычисления длин, площадей и объемов реальных тел путем их измерения. Отражая родовую черту этой науки, взгляд на геометрию как на искусство измерения впоследствии надолго утвердился в качестве чего-то само собой разумеющегося, естественного и безусловного в понимании предмета этой математической дисциплины. Первый серьезный вызов этой концепции будет сделан только в середине XIX в. в связи с возникновением и утверждением неевклидовых геометрий в качестве полноценных математических теорий. Однако окончательно из этого философского круга в понимании своего предмета и природы геометрия выйдет только в конце XIX — начале XX в. И это будет связано с четырьмя обстоятельствами: 1) разработкой Б. Риманом и Ф. Клейном понятий «аналитическое пространство» и «математическое многообразие»; 2) бурным развитием геометрии в XIX в. после открытия и принятия неевклидовых геометрий (возникновением и утверждением множества разделов и направлений этой науки, таких, например, как неархимедова геометрия, дифференциальная геометрия, проективная геометрия, топология, общая риманова геометрия, геометрия пространства с более чем тремя измерениями и т. д.); 3) построением Д. Гильбертом в 1899 г. формализованного варианта евклидовой геометрии; 4) масштабными и глубокими исследованиями математиками и философами конца XIX — начала XX в. природы математического знания и проблем его обоснования (теоретико-множественный подход, формализм, конструктивизм, метаматематика).

В становлении, утверждении и развитии понимания геометрии как науки о реальном пространстве можно выделить три основных исторических этапа: 1) древневосточная геометрия (Вавилон, Индия, Египет); 2) античная геометрия (Фалес, Платон, Аристотель, Евклид, Евдокс и др.); 3) геометрия Нового времени (аналитическая геометрия, стереометрия, начертательная геометрия, геометрия классической физики).

Особенности первого этапа. Возникшая на Древнем Востоке геометрия первоначально не была еще собственно математической наукой, так как ей была чужда сама идея логического доказательства своих утверждений. Да, она выделила в качестве своего предмета среди множества различных абстрактных эмпирических объектов свое многообразие: длины, площади, объемы, линии, углы, фигуры и способы определения их количественного значения — многократные измерения и нахождение среднего значения. Однако по своему содержанию, методу и когнитивному статусу она была скорее физической, нежели математической наукой. Это была специфическая область физического, притом эмпирического знания. Критерием истинности ее утверждений (при этом каждого в отдельности) считалось их соответствие данным измерения пространственных свойств реальных объектов, выступавших в качестве объективных прообразов (прототипов) определенного множества абстрактных (собственно геометрических) объектов (прямая, окружность, круг, треугольник, угол и т. д.).

Уже к 7 в. до н. э. был накоплен весьма значительный объем таких геометрических эмпирических знаний. Эти знания не только весьма широко применялись в различных видах практической и духовной (религиозной) деятельности того времени, но и требовали для своего хранения, воспроизводства и обучения специальных сообществ ученых (геометров). Известно, что первые знаменитые геометры античности Фалес, Пифагор и др. свое первоначальное знакомство с геометрией получили именно на Древнем Востоке (Египет, Малая Азия и др.). Основные особенности древневосточной геометрии могут быть кратко охарактеризованы следующим образом:

1) непосредственная вплетенность геометрического знания в практику и подчиненность в своем функционировании и развитии именно практическим потребностям общества (измерению длин, площадей, объемов реальных тел);

2) рецептурный, алгоритмический характер самого геометрического знания, представлявшего собой набор утверждений о последовательности действий, позволявших получить искомое геометрическое знание (например, описание совокупности операций для вычисления площади равнобедренного треугольника);

3) эмпирический характер геометрического знания и по содержанию, и по способу своего происхождения (геометрические положения рассматривались как некие эмпирические законы природы);

4) закрытый (кастовый) характер сообщества геометров (Древний Египет, а позже и математическая школа Пифагора), ограниченный доступ в это сообщество лишь небольшого числа избранных, «сакрализация» математического знания (Древний Египет, Пифагор) как истин, имеющих божественное происхождение и предназначение.

Основным недостатком такого геометрического знания, эмпирического по содержанию и физического по способу своей проверки, является то, что его обоснованность всегда зависит от уровня точности наличных инструментов измерения, степени их совершенства. Однако все такого рода инструменты всегда дают определенный, иногда значительный разброс в нахождении точных значений геометрических величин, особенно если иметь в виду уровень измерительной техники того времени. Ярким примером такого разброса явилось определение величины отношения длины любой окружности к ее диаметру. Так, в Древнем Египте эта величина считалась равной 3,16; в Древней Греции — 3,12; а в Древнем Вавилоне — 3[33].

[33] См.: *Каган В.Ф.* Очерки по геометрии. М., 1963. С. 356.

Другой пример. В папирусе Ахмеса (около 20 в. до н. э.) площадь равнобедренного треугольника определялась как равная половине произведения основания на боковую сторону[34]. Столь же неверным с точки зрения последующего развития геометрии (в частности, геометрии Евклида) оказались почти все остальные положения древневосточной геометрии. С философской точки зрения интересен, однако, тот момент, что такая неточность древнегреческой геометрии отнюдь не мешала ей обслуживать самые разнообразные потребности практики своего времени, получая тем самым от нее санкцию на якобы истинный характер ее утверждений.

Второй этап в развитии и закреплении понимания геометрии как науки о реальном пространстве связан с «прививкой» древневосточной геометрии к античной культуре. Социокультурная среда Древней Греции радикально отличалась от культуры Древнего Востока, особенно египетской культуры. Главное отличие состояло в характере тех ценностей, тех смысложизненных ориентиров, которые лежали в основе этих культур. Ценности древневосточной культуры: ориентация жизни общества и ее членов на практическую эффективность, материальную пользу, социальный порядок, дисциплину, управление, жесткую социальную стратификацию, религиозный характер мировоззрения. Основные ценности древнегреческой культуры иные: личная свобода, демократия, разум, истина, красота, философский характер мировоззрения. Очевидно, что эти две системы ценностей не просто существенно различны, но и во многом несовместимы. Центральные структурообразующие ценности этих культур — практическая польза (Древний Восток) и истина (Древняя Греция) — настолько различны, что по существу могут отрицать друг друга. Это четко осознал уже Фалес — один из первых крупных философов, а также геометров Древней Греции. Для него было очевидно, что практическая полезность какого-либо утверждения, равно как и его опытное основание, не могут рассматриваться как средства доказательства его истинности. Однако недоказанное утвер-

[34] См.: *Каган В.Ф.* Очерки по геометрии. М., 1963. С. 356.

ждение, считали древние греки, не может называться знанием, истиной («эпистемой»), а суть лишь мнение («докса»). Целью науки, доказывали древнегреческие философы, должна быть выработка не просто полезного знания (это может быть целью лишь более низкого, чем наука, уровня познания), а именно — необходимо-истинного знания. В связи с такой постановкой вопроса перед греками встали во весь рост две фундаментальные философские проблемы: 1) возможно ли вообще достижение человеком необходимо-истинного знания и 2) если да, то каким способом, какими средствами, какими методами. Попытки найти ответы на эти вопросы составили одну из главных линий развития античной философии от Фалеса до скептиков. Античными мыслителями были предложены различные варианты положительного решения данных гносеологических проблем. Главное в интересующем нас вопросе состояло в следующем: «пересадка» древневосточного геометрического знания на социокультурную почву Древней Греции привела к его радикальным изменениям и по форме, и по содержанию. Эти инновации можно констатировать в виде следующих особенностей древнегреческой геометрии: 1) превращение геометрии из эмпирического древневосточного техно в геометрическую науку теоретического характера; 2) построение геометрии как логически доказательной системы знания в виде дедуктивно-организованной, аксиоматической теории; 3) демократический характер древнегреческих математических сообществ (кроме Пифагорейского союза), доступ к овладению и занятиям геометрией в принципе любого свободного гражданина. Очевидно, что эти черты древнегреческой геометрии полностью противоположны тем, которые имела древневосточная геометрия. Необходимо отметить, что реализация проекта геометрии нового типа заняла у древнегреческих математиков достаточно продолжительное время, около 350 лет (с конца 7 в. до н. э. до середины 4 в. до н. э.). Однако в конце концов она увенчалась полным успехом. Опираясь на достижения своих многочисленных предшественников, Евклид поставил решающую точку в этом движении. В своих «Началах» он изложил новую теоретическую систему геометрии — первую в истории человеческой мысли логически доказательную, аксиоматическую систему научного знания. Из пяти исходных геометрических положений (постулатов) и 9 математических аксиом Евклиду удалось вывести (доказать) более 300 других геометрических утверждений (теорем). В нашу задачу не входит подробный анализ логической структуры «Начал» и других особенностей евклидовой геометрии. Отметим лишь два следствия, которые вытекали из построения новой системы геометрии.

Первое. Аксиоматическое построение геометрии привело к существенной корректировке содержания многих положений древневосточной геометрии. Например, было доказано, что значение отношения длины любой окружности к ее диаметру должно быть равно 3,14...; что площадь равнобедренного треугольника должна быть равна половине произведения его основания на высоту и т. д. и т. п. Эти положения существенно отличались от того, что утверждала древневосточная геометрия. И эта корректировка была получена не за счет более тщательных измерений реальных геометрических фигур, а благодаря их логическому выведению из аксиом. На примере развития геометрии Древней Греции мы четко видим, как изменение социокультурных условий приводит не только к выработке новых представлений о том, что такое наука и какой она должна быть, но и к существенному изменению содержания научного знания по сравнению с тем, которое имело место раньше по отношению к тому же самому предмету. В свою очередь принятие нового, теоретического понимания науки привело к необходимости разработки новых методов и средств ее построения и, в частности, к созданию логики как науки о логическом доказательстве, о формах и способах правильного мышления (Аристотель).

Второе следствие. Оно касалось необходимости изменения представлений о характере непосредственного предмета геометрии как науки. Начиная с Парменида, Платона и заканчивая Аристотелем, древнегреческая философия пришла к твердому утверждению, что непосредственным предметом любой научной теории (в том числе и математической) являются не свойства реальных объектов, которые можно зафиксировать в опыте, а идеи этих объектов и их свойств. Идеи же либо находятся в мышлении и суть элементы его бытия (Парменид, Платон), либо познаются (конструируются) мышлением с помощью интеллектуальной интуиции («умозрения» — Аристотель). Если перевести это понимание на язык современной теории научного познания, то это будет означать, что древнегреческие мыслители открыли, что в отличие от обыденного опыта и эмпирического познания, имеющих дело с реальными объектами и их свойствами (абстракциями), научные теории непосредственно имеют дело с идеальными объектами, описанием их свойств и отношений между ними. Правда, в вопросе об онтологическом статусе идеальных объектов среди древнегреческих философов были серьезные разногласия между рационалистами (Парменид, Платон) и эмпиристами (Аристотель, Эпикур, скептики и др.). Однако по отношению к геометрии как науке все они (кроме Демокрита) были едины в том, что ее утверждения непосредственно относятся не к реальным объектам (эмпирическим), а к идеальным объектам определенного рода (геометрическим точкам, геометрическим линиям и всем геометрическим фигурам, которые могут быть из них построены).

В отличие от реальных или физических объектов, идеальные объекты в принципе не наблюдаемы, ибо геометрическая точка вообще не имеет никаких размеров, линия — это непрерывный континиум точек, имеющий длину, но не имеющий никакой ширины, и т. д. и т. п. А раз идеальные объекты геометрической теории принципиально не наблюдаемы, раз в них полностью отсутствует какое-либо эмпирическое содержание, то и утверждения о них никак не могут оцениваться с помощью опыта, на предмет их соответствия последнему. Научная теория — продукт мысли, и поэтому критерий истинности ее утверждений также должен находиться только в сфере мышления. Поскольку идеи есть прообразы, проформы, потенции вещей, а последние суть их материальное воплощение и, следовательно, некоторое подобие идей (вещи — суть «тени» идей — Платон), постольку любая научная теория, конечно **опосредован-**

но, нечто говорит о материальном мире, но а) только опосредованно и б) только приблизительно и неполно. Такое истолкование соответствия между миром теоретических объектов (идей) и миром материальных объектов вполне позволяло объяснить имеющее место применение геометрии к материальному миру в ходе практической деятельности. Однако поскольку теоретическое геометрическое знание и эмпирическое (практическое) геометрическое знание полностью не совпадали, то в решении вопроса о гносеологическом статусе геометрии как науки было две возможности. Первая — считать ее по-прежнему частью физики (как это было на Древнем Востоке), но уже теоретической физики, непосредственным предметом которой являются реальные в своей основе пространственные отношения, но идеализированные в геометрической теории. По этому пути пошли Аристотель, Евклид и большинство древнегреческих математиков. Вторая возможность — считать геометрию наукой, непосредственно описывающей не реальные пространственные свойства и отношения, а лишь возможные (идеальные). Этот путь истолкования геометрии был намечен Парменидом и Платоном, но он оказался в целом не реализованным в античную эпоху. Таким образом, несмотря на существенные отличия античной геометрии от древневосточной, ей все же не удалось выйти из круга представлений о геометрии как науки о реальном (физическом) пространстве.

Несмотря на блестящие успехи античных ученых в развитии геометрии, которые были во многом далее развиты в Римской империи (тригонометрия), после упадка последней, завоевания ее варварами и последующего возникновения на ее территории религиозной христианской цивилизации геометрические достижения древних греков в силу своей невостребованности новой европейской культурой были не только не сохранены, но и просто утрачены (перекочевав на Ближний Восток), а впоследствии и просто забыты[35].

[35] См.: *Клайн М.* Математика. Утрата определенности. М., 1984. С. 43.

В этих условиях ни о каком дальнейшем развитии геометрической науки в Европе не могло быть и речи. Это — яркий пример чисто отрицательного влияния социокультуры определенного типа на развитие науки вообще, математики и геометрии в частности. Но более интересен в этой связи другой факт. Доставшееся арабам математическое наследие древних греков оказалось невостребованным и там. В условиях восточной культуры геометрия Евклида считалась излишне сложной и «заумной» для практического использования. Как отмечает М. Клайн: «Индийцам и арабам было известно... понятие математического доказательства, доставшееся им в наследство от греков. Однако они не позаботились о том, чтобы применить понятие дедуктивного доказательства в арифметике и алгебре»[36]. Геометрия на средневековом Востоке осталась по своим основным когнитивным характеристикам той же самой, что и 20 веков назад. Она если и развивалась, то исключительно кумулятивно, экстенсивно, вширь, но не вглубь. Для нее древнегреческий идеал построения геометрии в виде логически-доказательной, аксиоматической системы знания был абсолютно чужд. Это является весомым аргументом против позиции философов и математиков — интерналистов, согласно которой возникновение евклидовой геометрии в Древней Греции было якобы закономерным и прямым продолжением ее развития на Древнем Востоке. Нет, возникновение евклидовой геометрии в Древней Греции было все же научной революцией, качественным скачком в развитии геометрии. И древнегреческая культура с ее культом Разума как высшей ценности, признания верховенства Мысли как главного орудия научного познания была необходимым условием свершения этой революции. Этот пример исторического развития геометрии можно рассматривать как убедительный эксперимент самой культуры, поставленный ею в отношении выбора между двумя главными, логически возможными моделями развития научного знания — интерна-

---

[36] См.: *Клайн М.* Математика. Утрата определенности. М., 1984. С. 132 – 134.

лизмом и экстернализмом. Демонстрация культурой предпочтения экстернализму в данном случае достаточно красноречива.

Открытие неевклидовых геометрий ознаменовало очередной, качественно новый этап в развитии геометрии. Оно нанесло первый серьезный удар по господствовавшему до сих пор представлению геометров (как на Востоке, так и на Западе), что предметом геометрии являются и могут быть только пространственные формы и отношения реального мира, по существу взгляду на геометрию как на одну из физических наук.

Неевклидова геометрия была почти одновременно и независимо друг от друга открыта в первой трети XIX в. русским математиком Н.И. Лобачевским (1792—1856), венгром Я. Бойаи (1802—1860) и немецким математиком Ф. Гауссом (1777—1855). Этот факт одновременного и независимого открытия разными авторами принципиально новой математической теории весьма примечателен. Он свидетельствует о том, что даже в такой высокоабстрактной науке, как математика, процесс выдвижения новых идей отнюдь не является процессом абсолютно свободного творчества индивидуального субъекта. И в математике имеет место детерминация познавательной деятельности целым рядом объективных факторов как внутринаучного, так и социокультурного порядка. Как справедливо отмечал один из творцов новой геометрии Я. Бойаи, «многие идеи как бы имеют свою эпоху, во время которой они открываются одновременно в различных местах подобно тому, как фиалки весной произрастают всюду, где светит солнце»[37]. То, что кажется случайным, при углубленном рассмотрении часто оказывается исторически подготовленным.

К числу важных внутринаучных факторов, подготовивших открытие неевклидовой геометрии, относится прежде всего та огромная теоретическая работа геометров, которая была проделана в связи с попытками доказать пятый постулат Евклида. Многочисленные неудачно заканчивавшиеся попытки сделать это все

[37] *Каган В.Ф.* Очерки по геометрии. С. 39.

больше навевали и укрепляли у геометров мысль о принципиальной невозможности выведения пятого постулата из остальных четырех, о его логической независимости от последних. Вторым важным фактором возникновения неевклидовых геометрий явилась настоятельная потребность боле интенсивного развития математического знания, которая все более рассматривалась в качестве основного инструмента анализа явлений природы. Начиная с Нового времени, математика стала рассматриваться в качестве важного средства анализа и описания явлений природы. («Книга природы написана на языке математики» — Галилей. И еще более решительно: «Бог — математик».) Наконец, третьим важным фактором, подготовившим возникновение неевклидовой геометрии, явилось интенсивное развитие в Новое время философской мысли, которая способствовала возрождению и утверждению интереса к вопросу о природе научного знания вообще и математического в частности, вопросам его обоснования, истинности и т. д. Эти вопросы активно обсуждались в работах Р. Декарта, Ф. Бэкона, Д. Локка, Г. Лейбница, Д. Юма, И. Канта и др. Таким образом, возникновение новых геометрий было подготовлено, с одной стороны, внутренней логикой развития геометрии, а, с другой стороны, всем ходом развития науки Нового времени, испытывавшей потребность в философско-методологическом осмыслении своих основ.

С чисто логической точки зрения в основе открытия неевклидовых геометрий лежало принятие гипотезы о независимости пятого постулата евклидовой геометрии от остальных. Но из принятия этой гипотезы вытекала возможность построения новой, неевклидовой геометрии. Однако нужно было иметь большое когнитивное мужество и волю, чтобы принять и отстаивать эту гипотезу в качестве математической истины. Против такого допущения говорило более чем двадцативековое существование только евклидовой геометрии; «многомиллиардное», непосредственное (строительство, техника) и опосредованное (через естествознание и ньютонову физику, в частности) подтверждение ее положений на практике; сформированная на ее основе геометрическая интуиция ученых. Убеждение в том, что возможна лишь одна истинная геометрия и что таковой является именно евклидова геометрия, было непреложной аксиомой для подавляющего числа математиков. Многие философы видели одну из своих задач лишь в том, чтобы обосновать данную позицию. Характерной в этом отношении является концепция И. Канта, доказывавшего невозможность отличной от евклидовой системы геометрии априорными свойствами человеческого сознания.

Первым ученым, отважившимся принять гипотезу о независимости пятого постулата и тем самым бросить вызов господствовавшей в течение многих столетий убежденности математиков и философов в единственности евклидовой геометрии, был великий русский математик Н.И. Лобачевский. В построенной им системе геометрии (опубликована в 1829 г.), впоследствии получившей название геометрии Лобачевского, пятый постулат в отличие от геометрии Евклида гласил, что на плоскости через точку можно провести более одной прямой, параллельной данной. Аналогичное построение в 1832 г. осуществил венгр Я. Бойаи. Многие положения новой геометрии находились в разительном противоречии с привычной геометрической интуицией.

В этой геометрии:

1. Два перпендикуляра к одной прямой на плоскости не остаются один от другого на равных расстояниях, а беспредельно расходятся.

2. Нет подобных фигур.

3. Сумма углов любого треугольника всегда меньше 180° и меняется от одного треугольника к другому.

4. Отношение длины окружности к диаметру всегда больше 3,14 и т. д.

Однако никакого внутреннего логического противоречия в новой системе геометрии обнаружено не было. Тем не менее подавляющим большинством математиков и философов первой половины XIX в. новые идеи творцов неевклидовой геометрии были решительно отвергнуты, а после их смерти и вообще забыты. Корни подобного отношения к неевклидовой геометрии следует искать в господствовавших среди математиков представлениях о предмете геометрии и природе геометрического знания, о критериях приемлемости и истинности геометрических теорий. Эти представления складывались веками и получили свое философское оформление как в эмпиристском, так и в априористском истолковании природы геометрического знания. Даже «король математиков» XIX в. Ф. Гаусс не решился публично бросить вызов традиции отношения к евклидовой геометрии как единственно истинной системе геометрии, хотя в частной переписке и высказывал положительное мнение о работах Лобачевского. Гаусс считал геометрию, в отличие от арифметики, эмпирической наукой, наукой о свойствах реального пространства, а поэтому критерием истинности ее утверждений полагал только их соответствие данным измерения соответствующих геометрических свойств реальных тел. Говорят, Гаусс даже осуществил измерение суммы углов треугольника довольно больших размеров (образованного вершинами гор, окружавших Геттингенский университет, где он преподавал). Это измерение хотя и дало величину меньше 180°, однако это отклонение лежало в пределах вероятности ошибки измерения. Поэтому Гаусс вынужден был признать этот результат как эмпирически отрицательный в отношении подтверждения истинности неевклидовой геометрии[38]. Однако дальнейшее развитие геометрии все же доказало правоту создателей неевклидовой геометрии. И в 70-е гг. XIX в., то есть почти через 50 лет после ее открытия Лобачевским, новая геометрия была принята математическим сообществом в качестве «полноценной» геометрической теории. Это было обусловлено рядом обстоятельств. Решающее значение здесь имело, с одной стороны, доказательство относительной непротиворечивости неевклидовой геометрии, а с другой, последовавшее за этим изменение взглядов математиков на предмет и природу всего математического знания.

Среди тех вех, которыми был отмечен путь признания неевклидовой геометрии, важное место зани-

[38] См.: *Карнап Р.* Философские основания физики. М., 1971. С. 192–194.

мают работы итальянского математика Э. Бельтрами (1835—1900). Исследуя геометрические свойства евклидовых кривых поверхностей, Бельтрами обнаружил, что на поверхностях с постоянной отрицательной кривизной выполняются соотношения плоской геометрии (планиметрии) Лобачевского. Наиболее важным моментом здесь было то, что эти поверхности полностью описывались в рамках стереометрии Евклида. Это означало, что каждому положению плоской геометрии Лобачевского могло быть поставлено в соответствие определенное положение евклидовой стереометрии. Отсюда вытекал важнейший вывод о том, что геометрия Лобачевского по крайней мере столь же непротиворечива, сколь и геометрия Евклида. Это же было показано и в отношении созданной в 50-х гг. XIX в. Б. Риманом (1826—1866) новой неевклидовой геометрии, получившей название частной римановой геометрии или эллиптической геометрии. В ней, в отличие от геометрий Евклида и Лобачевского, постулат о параллельности гласил, что через точку к прямой на плоскости нельзя провести ни одной прямой, параллельной данной. В этой геометрии: 1) все прямые имеют одинаковую длину и каждые две прямые пересекаются в двух точках; 2) два перпендикуляра к одной прямой всегда пересекаются; 3) сумма углов треугольника всегда больше 180° и т. д. Оказалось, однако, что все положения частной римановой геометрии выполняются на поверхностях постоянной положительной кривизны, также полностью описываемых в рамках евклидовой геометрии. Позднее Риманом чисто логически была построена обобщенная, так называемая общая риманова геометрия, в которой, в отличие от геометрии Евклида, Лобачевского и Римана, кривизна пространства являлась уже не постоянной, а переменной величиной. Геометрии Евклида, Лобачевского и Римана стали частными случаями общей римановой геометрии. Построение общей римановой геометрии продемонстрировало выход геометрии на более высокий уровень абстрактности. Вместе с тем оно показало, что с возрастанием абстрактности математического знания существенно увеличивается роль чисто логических и конструктивно-мыслительных методов в математическом познании.

Создание целой серии неевклидовых геометрий, оказавшихся столь же непротиворечивыми, сколь и геометрия Евклида, по-новому поставило вопрос о природе геометрического знания. Оно показало несостоятельность традиционных как эмпиристских, так и априористских истолкований природы геометрического знания. Во-первых, само возникновение новых геометрий явно не укладывалось в эмпиристскую схему. Новые геометрии появились вовсе не в результате обобщения каких-то новых эмпирических данных, а в силу внутренней логики развития геометрии. Эти геометрические построения длительное время (по существу, вплоть до создания и проверки общей теории относительности А. Эйнштейна) вообще не имели никакого эмпирического подтверждения.

Кстати, сам Лобачевский также придерживался эмпиристского взгляда на предмет и природу геометрии, считая при этом единственно истинной геометрией именно свою систему. Геометрию же Евклида он рассматривал лишь как хорошее практическое приближение своей геометрии к пространственным свойствам фигур земного масштаба[39].

Возникновение неевклидовых геометрий нанесло удар и по различного рода рационалистическим и априористским концепциям природы геометрического знания. Рационалисты издавна трактовали аксиомы математики и геометрии, в частности, как очевидные разуму, интуитивно-истинные положения. Однако многие аксиомы неевклидовой геометрии никак не поддавались такой трактовке. Дальнейшее развитие как геометрии, так и математики в целом показало, что различие между аксиомами и теоремами вообще неверно связывать со степенью их интуитивной очевидности, а только с их местом в структуре конкретной математической теории. Любое математическое утверждение само по себе не является

[39] См.: *Молодший В.Н.* О методологических предпосылках открытия и разработки Н.И. Лобачевским неевклидовой геометрии // Философские науки. 1980. № 4.

ни аксиомой, ни теоремой. Таким оно становится только в конкретной математической теории, благодаря своему месту.

То, что новые геометрии не удовлетворяли ни эмпиристскому критерию согласия с опытом, ни рационалистскому критерию интуитивной очевидности или априорного характера ее аксиом, поставило математиков XIX в. в ситуацию жесткого выбора: либо они должны были отстаивать прежние критерии приемлемости геометрических теорий и тогда признать незаконными новые геометрические построения, либо принять последние в качестве полноценных математических построений, но тогда отбросить старые взгляды на природу математического знания. Анализ развития геометрии показывает, что математики пошли по второму пути, по пути изменения своих философских представлений о природе математического знания. Отныне в рамках чистой математики критериями истинности ее теоретических построений остались лишь требования их непротиворечивости и эффективности в решении внутриматематических проблем.

Создание и принятие неевклидовых геометрий явилось качественным скачком не только в развитии геометрии, но и математики в целом. Оно привело к необходимости изменения прежнего понимания предмета математики. Принятие «воображаемых геометрий» в качестве полноценных теорий с необходимостью вело к пониманию предмета математики как имеющего дело с изучением количественных отношений не только реальных объектов, но и возможных количественных отношений и пространственных форм.

Теперь в предмет математики стали входить «отношения, существующие между элементами произвольной группы, векторами, операторами в функциональном пространстве, все разнообразие форм пространства любого числа измерений и т. п.»[40]. Необходимо подчеркнуть, что по мере роста абстрактности математического знания его связь с запросами практики и различных наук (прежде всего естествознания) принимает все более

[40] *Колмогоров А.Н.* Математика // БЭС. 3-е изд. Т. 15. С. 474.

сложный и опосредованный характер. Вместе с этим растет относительная самостоятельность математики по отношению к потребностям практики, других наук, различным элементам культуры. Роль непосредственной движущей силы в развитии математического знания все больше начинает играть внутренняя проблематика самой математики и конструктивная сила мышления.

Конечно, это не означает, что в развитии математики XIX—XX вв. внутренние факторы стали единственной силой возникновения и развития математического знания. Так, формирование таких математических теорий, как векторное исчисление и тензорный анализ, происходило под весьма непосредственным влиянием запросов механики и физики, из запросов связи возникла теория информации, из потребностей геодезических работ — метод наименьших квадратов и т. д. Однако тенденция увеличения веса внутренней логики, внутренних потребностей самой математики явно возросла в математике XIX—XX вв. по сравнению с прошлыми этапами ее развития.

Одним из важнейших следствий развития геометрии во второй половине XIX в. явилось введение в философию математики различия геометрии как физики и геометрии как математики. «Отчетливое разграничение геометрии как физики и геометрии как математики, — отмечает П.К. Рашевский, — представляет собой крупное принципиальное достижение науки конца XIX — начала XX в. Достижением это является в том смысле, что слитное существование обеих точек зрения, по существу чуждых друг другу, тормозило развитие и той, и другой»[41]. Геометрия как физика и геометрия как математика различаются между собой прежде всего предметами исследования. Геометрия как физика изучает те свойства и отношения объектов материального мира, которые соответствуют зафиксированным в ее аксиомах. Она является опытной наукой и отличается от других естественных наук (химии, биологии и т. д.) лишь относительной бедностью качественной стороны изучаемого ею мира явлений. Ее положе-

[41] *Гильберт Д.* Основания геометрии. М.; Л., 1948. С. 13.

ния, как и утверждения всякой опытной науки, проверяются наблюдением и экспериментом и истинны лишь приблизительно. Геометрию как математику, напротив, непосредственно не интересует связь ее понятий и утверждений с какими-либо определенными эмпирическими объектами, свойствами и отношениями. Ее интерес сосредоточен исключительно на исследовании логических зависимостей между отдельными геометрическими положениями. Неразличение геометрии как физики и геометрии как математики, имевшее место в традиционной методологии математики, во многом способствовало поддержке представления о том, что обычная интерпретация в рамках евклидовой геометрии понятий точки, прямой и плоскости является единственно возможной. Осознанию того, что это — иллюзия, способствовало бурное развитие геометрии в XIX в. как в экстенсивном плане (афинная геометрия, неархимедова геометрия, дифференциальная геометрия, проективная геометрия, геометрические построения перестали ограничиваться трехмерным пространством и стали осуществляться для любого числа измерений и т. д.), так и в интенсивном (например, осуществление ее формализации, анализ системы аксиом геометрических теорий на их полноту и т. д.).

Важнейшим этапом развития геометрии явилось формально-аксиоматическое построение евклидовой геометрии, осуществленное Д. Гильбертом в 1899 г. и опубликованное в 1901 г. Формализация Гильбертом содержательной евклидовой геометрии окончательно утвердила различие геометрии как физики и геометрии как математики и показала, что как часть математики геометрия не имеет своим непосредственным предметом пространственные формы и отношения реального физического мира. Она строит и описывает любые пространственно-подобные многообразия, любые логически возможные типы пространственных отношений. Что характерно для гильбертовского построения геометрии? Прежде всего то, что Гильберт не связывает с вводимыми им основными понятиями «точка», «прямая», «плоскость», «принадлежность», «между», «конгруэнтен» вообще никаких конкретных содержательных представлений, тем более — эмпирического характера. Основные понятия геометрии определяются лишь неявно, через использование их в качестве терминов, входящих в аксиомы. Такой подход с самого начала исключает какую-либо ссылку на содержательную интуицию при доказательстве геометрических теорем и требует только строгого формально-логического их выведения из аксиом. В результате Гильберту удалось проследить в чистом виде логическую зависимость одних геометрических положений от других и построить действительно строгую дедуктивную систему геометрического знания, то есть, по существу, впервые полностью реализовать ту программу, которую когда-то выдвигал Евклид и которую последнему удалось реализовать лишь частично. Поскольку при формально-аксиоматическом построении геометрии с ее основными понятиями не связывают никакого определенного содержания кроме того, которое неявно зафиксировано в аксиомах, постольку любая такая геометрическая теория в принципе допускает бесконечное множество содержательных интерпретаций. Это означает, что в геометрии как математике под «точкой», «прямой», «плоскостью» можно подразумевать какие угодно объекты, а не только те, с которыми она была связана своим историческим происхождением. Главное, чтобы их свойства и отношения соответствовали тем, которые зафиксированы в ее аксиомах.

Наконец, нахождение Б. Риманом и Ф. Клейном чисто аналитической, числовой интерпретации понятий «точка», «прямая» и «плоскость» окончательно убедило математиков в том, что геометрию как математику неправомерно жестко связывать не только с привычными пространственными образами, но и вообще с какой-то одной интерпретацией. Только в начале XX в. геометрия была оторвана от ее жесткой привязки к реальному эмпирическому пространству. В итоге математики окончательно вышли из философского круга истолкования предмета геометрии как науки о свойствах реального пространства.

ЧАСТЬ II
ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Глава 1

ПРЕДМЕТ И СТРУКТУРА ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Философские вопросы, связанные с **техникой и технологией, техническими и технологическими науками,** весьма многообразны. Современная жизнь погрузила человека в мир, который функционирует на основе множества различных технологий. Техника стала неотъемлемой частью человеческого бытия. Сам человек, используя технику, настолько преобразовал окружающую среду, что существует в мире, который с полным основанием можно назвать **техносферой**, а саму современную цивилизацию — **техногенной**. Понимание тех процессов, которые происходят с человеком в этом техногенном мире, невозможно без глубокого философского осмысления технических и технологических наук.

Очевидно, что современный техногенный мир есть результат целенаправленного использования достижений технических наук в практическом и социальном преобразовании общества. Однако не менее очевидно и другое. А именно то, что в основе возникновения технических и технологических наук лежало и лежит развитие фундаментального естествознания.

Технические науки оформились как самостоятельные научные дисциплины значительно позже, чем науки естественные. Если последние стали оформляться как самостоятельные еще во второй половине XVIII в., то технические науки в качестве таковых с трудом воспринимались общественным сознанием даже в конце XIX в.

Приведем в качестве примера широко известный факт из биографии великого немецкого химика и одного из основоположников химической технологии Юстаса Либиха. Когда он, будучи лучшим выпускником гимназии, заявил, что собирается стать инженером-химиком, то был поднят на смех и учителями, и своими товарищами. В качестве достойных уважения более или менее воспринимались инженерные специальности, связанные с механикой (транспорт, металлургия, добыча полезных ископаемых), да и те не рассматривались как наиболее подходящие «людям из общества». Однако необходимость реализации все более разнообразных потребностей самого общества приводила ко все большему возрастанию в производстве и науке роли инженеров.

Это нашло отражение и в литературе. Жюль Верн в своем романе «Таинственный остров» делает главным героем инженера Сайреса Смита, который не является научным гением, но в совершенстве знает все существующие к тому времени прикладные технологии. Это позволяет ему не только выручить себя и своих товарищей из практически безвыходной ситуации, но и обеспечить вполне комфортные условия существования на необитаемом острове. В ряде произведений Герберта Уэллса ставятся вопросы о взаимосвязи науки и техники, о социальной роли человека, работающего в сфере научных изысканий в области технологии. Герой уэлловского романа «Тоно Бенге» с горькой иронией констатирует, что его технические новации не принесли ему той известности, которую получили его коллеги, занимавшиеся чистой наукой, хотя и сделали членом Королевского общества — британский аналог Академии наук. (Нельзя не отметить, что Лондонское королевское общество было создано Робертом Бойлем в 1663 г. как общество «**наук и ремесел**».)

Конечно, в дальнейшем положение стало изменяться, и к середине XX в. технические науки сами активно стали выступать не только как области, которые конкретными технологическими решениями подтверждают открытия, сделанные в рамках естественных наук, но и как мощный катализатор естественно-научных фундаментальных исследований, а в ряде случаев и как их непосредственный «заказчик». Только применив на практике такие фундаментальные научные открытия, как рентгеновское и радиоактивное излучение, строение молекулы ДНК, генерация монохроматического излучения электромагнитных волн (лазер), сверхпроводимость (разумеется, этот перечень можно было бы продолжить), человеческое сообщество смогло решить проблемы, позволяющие наиболее развитым странам перейти к качественно новому технологическому уровню и, соответственно, более высокому уровню жизни («обществу потребления»). Конечно, это не могло не породить новых проблем, но именно содружество науки и техники предлагает варианты их решения, не ведущие к регрессивным изменениям в существовании людей (например, ресурсосберегающие и экологичные технологии).

Даже краткий исторический анализ показывает, что технические науки часто выступают в качестве «испытательного полигона» для наук естественных, подтверждая на практике правильность тех или иных гипотез и теорий, определяя границы действия того или иного естественно-научного закона и открытия.

Чем активнее шло развитие связей между естественными и техническими науками, тем сильнее шел процесс формирования новых технических дисциплин. Одновременно шло развитие общества в направлении максимального удовлетворения потребностей человека, создания для него наиболее комфортных условий существования, что также приводило к возникновению новых технических решений, воплощавшихся в конкретных технологиях[1].

Принципы классификации и особенности технических и технологических дисциплин

При рассмотрении различных источников общего характера (энциклопедии, словари, справочники) бро-

[1] См.: *Степин В.С., Горохов В.Г., Розов М.А.* Философия науки и техники. М.: Гардарики, 1996.

сается в глаза отсутствие единого подхода к классификации областей, связанных с техникой и технологией. Полагаем, что можно с определенной степенью условности выделить три (по меньшей мере) подхода (принципа), которые используются при сравнении этих различных областей научной и практической деятельности: отраслевой, естественно-научный и исторический.

Господствующим является **отраслевой принцип**, т. е. когда различные области техники и технологии и соответствующие им научные дисциплины рассматриваются в зависимости от их применения в конкретной отрасли человеческой деятельности. Выделяются, например, такие направления техники, как металлургия, машиностроение, транспорт и связь, химическая, пищевая, текстильная промышленность, военная техника и многие другие. В настоящее время в каждой из этих областей накоплено колоссальное количество информации. Поэтому естественной оказывается необходимость их дальнейшей классификации. Например, для транспорта это разделение на воздушный, водный, автомобильный, железнодорожный, трубопроводный, транспортные материалы и так далее. В каждой технической области существуют достаточно широко отстоящие друг от друга, но, безусловно, имеющие «зону перекрывания» разделы, посвященные проектированию, производству, ремонту и эксплуатации конкретного вида технических устройств. Естественно, что возникающие в каждой технической области проблемы подготовки кадров также имеют свою специфику.

Другой подход к классификации различных научно-технических дисциплин можно (с определенной натяжкой) назвать **естественно-научным**. Он имеет своим основанием «перекидывание мостов» между определенными разделами какой-либо из естественных наук и соответствующим ему техническим приложением. Примерами могут служить, с одной стороны, химия высокомолекулярных соединений и технология химической переработки пластмасса, с другой — физика плазмы и технология газотермических напыленных покрытий и многие другие. При этом практически каждая естественно-научная область (физика, химия, биология, геология), имеющая «в своем ведении» целый ряд вполне «независимых» к настоящему времени наук, выделившихся за последнее столетие в отдельные научные дисциплины, располагает соответствующим количеством технических специальностей. Сама же определенная техническая специальность в случае востребованности ее обществом не может не порождать в своем развитии новых специализаций, которые, в свою очередь, могут затем также превращаться в новые самостоятельные специальности. Например, инженер-металлург начала XX в. через тридцать лет должен был превратиться либо в инженера-литейщика, либо в инженера по механическому оборудованию, либо в инженера по обработке давлением. Последний уже через двадцать лет стал или специалистом по ковке, или по прокатке, или по штамповке. В дальнейшем этот процесс продолжился. Однако если какая-либо область технологии перестает быть востребована обществом, то наблюдается обратная картина: «свертывание» технических специальностей.

Если первый подход более удобен для классификации и поиска информации, а также при анализе структуры конкретного раздела техники, то второй дает определенные преимущества при анализе внутренней структуры конкретной технологии, изучении генезиса какой-либо технологической проблемы. Оба этих обстоятельства должны учитываться при правильном философском анализе вопросов техники и технологии.

Кроме того, можно сказать и о третьем подходе к техническим специальностям, который можно назвать **историческим**. Его наглядной иллюстрацией является перечень технических специальностей, относящихся как к среднему и высшему профессиональному образованию, так и к специальностям, по которым присуждаются ученые степени по техническим **наукам**. Первыми были выделены специальности, которые имели отношение к механике, а затем уже были проранжированы и все остальные. *При таком способе классификации был использован следующий прием: чем больше число между двумя точками в номере, обозначающем конкретную специальность, тем позднее она появи-*

лась. Например, специальности 05.01.02 «Сопротивление материалов», 05.02.01 «Материаловедение в машиностроении» и 05.17.14 «Химическое сопротивление материалов и защита металлов от коррозии».

История развития конкретных научных областей, связанных с техникой и технологией, показывает, что развитие техники привело не только к появлению разноплановых технических и технологических специальностей, но и соответствующих им научных направлений, многие из которых к настоящему времени выделились в самостоятельные науки.

Техническое и технологическое знание

В конце XIX — начале XX в. каждый инженер, занимавшийся вопросами, связанными с производством, должен был хорошо представлять все стадии технологического процесса и то оборудование, которое на всех стадиях этого процесса использовалось. Кажется, что между ним и ремесленником, который получал сведения об этом производстве от своих наставников, не существует никакой принципиальной разницы. Однако это не так. Техника приобрела научный характер и перестала быть ремеслом с того момента, когда достижения естественных наук (в первую очередь физики и химии) стали играть существенную роль в создании новых технологий и новой техники и получении изделий, качественно отличных от тех, которые мог бы произвести ремесленник. Естественно, что и изменения в организации производства, его масштабах (мануфактуры, а позднее заводы и фабрики) также сыграли значительную роль в создании новых разнообразных изделий. *(Примерами улучшения качества изделий при применении научно-промышленных методов их производства могут служить практически все товары одинакового назначения, произведенные, с одной стороны, до промышленной революции, а с другой — после нее. Всем известно, что гоголевский кузнец Вакула с помощью нечистой силы и собственной смекалки смог преподнести своей невесте «черевички царицы». Од-*

нако если мы сравним туфельки Екатерины II, хранящиеся в музее, с современными моделями дамских туфелек, то сразу увидим, что несмотря на то, что хотя первые — безусловно произведение искусства, но их внешний вид достаточно грубоват по сравнению с современной дамской обувью топ-класса.) Современное промышленное оборудование (особенно при его модификации для работы индивидуального мастера) и методы получения и обработки материалов дают возможность получить те формы и качество обработки, которые уже принципиально невозможно получить даже самым умелым и одаренным мастером в условиях кустарного производства.

Но чем дальше развивались применения науки в производстве, тем труднее становилось одному ученому-естественнику (таким, например, как Г. Деви, М. Фарадей или У. Волластон) «видеть» все стадии технологического процесса и понимать устройство всех технических приспособлений, которые при этом применялись. В то же время и люди, бывшие до этого ремесленниками, постепенно все более убеждались в необходимости овладения научными знаниями для успешного осуществления своей работы.

Все это привело к тому, что сами технические и технологические специализации стали превращаться в отдельные профессии. Принято, что слово «инженер» означает человека, имеющего высшее образование и разбирающегося в конкретной технической или технологической области; при этом сегодня его знания и умения, безусловно, основаны на вполне конкретных естественных науках. То есть его основную научную базу составляет либо физика, либо химия, либо биология с их парадигмами и концепциями.

Как известно, первой инженерной специальностью была профессия инженера-механика. Правда, вначале самого словосочетания «инженер-механик» не было, а было лишь слово **инженер**, обозначавшее универсального высокообразованного специалиста, не обязательно только механика. (Пример — уже упоминавшийся инженер Сайрес Смит из романа Жюля Верна «Таинственный остров».) Возникает вопрос, к какому направлению отнести его профессию: техническому или технологическому? Определенный парадокс ситуации состоит в том, что первые инженеры-механики были одновременно и техниками и технологами, а современный инженер-механик в зависимости от конкретного рода занятий чаще всего является представителем технического, а не технологического направления. Обращаясь к истории и вглядываясь в фигуры таких гениальных естествоиспытателей, какими были, например, Архимед и Роберт Гук, мы видим, что в памяти потомков они остались в первую очередь именно как выдающиеся инженеры-механики, хотя, безусловно, во времена их жизни такого термина просто не существовало.

Развитие механики привело к появлению самых разнообразных механизмов, а затем и механических устройств, которые существенно изменили человеческую жизнь. К таким устройствам безусловно относятся водяная, а затем ветряная мельницы и механические часы. Однако только паровая машина стала символом промышленной революции. Построение этого устройства показало, что для этого требуется не только знание механики, но и других естественных наук (термодинамики, химии и др.). Оказалось, в частности, что инженер-механик, занимающийся обслуживанием паровых машин, должен получить также дополнительные специальности. Так постепенно возникла профессия инженера-теплотехника (современное название этой инженерной специальности — промышленная теплоэнергетика). А поскольку паровые машины еще до появления первых паровозов стали применяться для откачки воды из шахт, то одновременно возникла и профессия инженера-гидравлика. Конечно, реальное разделение этих профессий возникло намного позже, как и их специальная подготовка.

Интересно отметить, что именно в этом случае достаточно хорошо заметна граница между техническим и технологическим. Инженер-механик создавал проект паровой машины (гидравлической системы или другого технического устройства). В процессе реализации проекта он отвечал за правильность изготовления и взаимодействия всех его составных частей. Однако оказалось, что один человек не в состоянии и спроектировать эту сложную конструкцию (машину, механизм), и получать и обрабатывать всю информацию о ее работе, и провести в случае необходимости ремонт, и проконтролировать качество материалов, из которых это устройство было изготовлено. Те специалисты, которые занимались проектированием и изготовлением экспериментального образца машины, технической системы, стали считаться представителями технического направления науки; те же, которые контролировали правильность всех операций по изготовлению «поставленных на поток» изделий, представляли уже другое — технологическое направление.

Таким образом, можно представить следующую последовательность в развитии инженерных профессий.

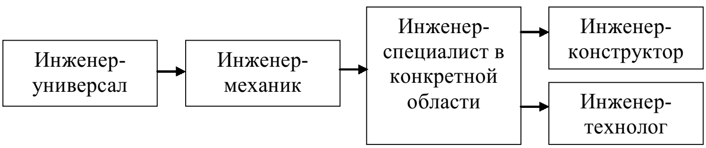


Рис. 1

При этом технологический опыт является одним из важнейших источников сведений, которые «по цепочке» возвращаются к исходному пункту: ученому-технику и ученому-естественнику и обогащают те научные области, которые лежали в основе их теорий.

Итак, со временем технические и технологические науки стали представлять собой два достаточно четко выраженных отдельных, хотя и взаимосвязанных направления в деятельности человека по развитию современной техногенной цивилизации. Очевидно, между этими двумя направлениями нет непреодолимых «водоразделов». Более того, успешное развитие техносферы было бы невозможно без их постоянного взаимодействия. При этом в рамках различных инженерных специальностей соотношение технического и технологического в целом неодинаково.

Техника (от греческого techne — искусство, мастерство, ремесло) — совокупность средств человеческой деятельности (машин, конструкций, устройств), созданных для осуществления определенных производственных и непроизводственных процессов[2].

Технология (от греч. techne): 1) совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката, осуществляемая в процессе производства продукта; 2) научная дисциплина, изучающая физические, химические, механические и другие закономерности, действующие в технологических процессах; 3) сами операции добычи, обработки, транспортировки, хранения, контроля, являющиеся частью общего производственного процесса[3].

Ключевым моментом, позволяющим разделить «техническое» и «технологическое», является то, что «техническое» связано с совокупностью предметов и средств материальной деятельности людей, а «технологическое» — с совокупностью методов создания таких предметов и средств.

В современном научно-техническом сленге существуют четкие различия, позволяющие достаточно определенно позиционировать понятия **технический** и **технологический**. Например, процессы изготовления мотоцикла или мужского костюма — **технологические процессы**, но в ходе этих производств применяются различные и весьма разнообразные **технические** устройства и системы. За соблюдение правильности всех операций производственного процесса отвечает **инженер-технолог**, который хотя и контролирует при этом исправность и правильность работы всех участвующих в этом процессе **технических устройств**, но не создает последних.

Возникает вопрос: оправдано ли говорить о разделении всех наук техносферы на науки **технические** и **технологические**?[4]

С нашей точки зрения, такое разделение вполне оправдано и уместно. Хотя оно и не существует de ure,

[2] См.: Большой энциклопедический словарь. Научн. изд. Большая Российская энциклопедия. СПб., 2003. С. 1199.

[3] См. там же. С. 2000.

[4] См.: *Лебедев С.А.* Философия науки: Словарь основных терминов. М.: Академический Проект, 2006. С. 248, 249.

но существует de facto. Естественно, что в одних конкретных областях это разделение более заметно, а в других проявляется несколько слабее.

Очевидно, что прикладная электрохимия, металловедение и термическая обработка, сварка, литье, безусловно, технологические области науки. С другой стороны, сопротивление материалов, детали машин, электротехника, теплоэнергетика, радиотехника, несомненно — технические науки.

Предмет технических наук может быть определен как проектирование и испытание различных технических систем. Предметом же технологических наук является разработка, реализация и управление различными технологиями.

Техническое и технологическое знание: сходство и различие

Говоря об общем знании для любого раздела техники и технологии, необходимо отметить прежде всего наличие общей для них и достаточно большой по объему терминологии. С другой стороны, она может весьма сильно отличаться по значению даже в относительно близких областях.

Для неспециалиста это может существенно затруднить правильное понимание той или иной технической либо технологической проблемы. Приведем несколько примеров.

Так, термин **лигатура** в металлургии обозначает вспомогательный сплав, который вводится в основной для придания ему необходимых свойств за счет обогащения определенными химическими элементами. В полиграфии же этот термин обозначает отливку двух печатных знаков на одной общей ножке. Таким образом, одним термином в разных областях обозначают и материал, и изделие. Другим примером является термин **матрица**. Это и математический термин, и инструмент со сквозным отверстием или углублением, используемый при обработке давлением (ковка, прокатка, штамповка, волочение), и часть композиционного материала, составляющая бóльшую долю по объему или массе. Хотелось бы указать также на такой многозначный термин, как **потенциал**, который имеет множество различных значений в механике, термодинамике и теплотехнике, электротехнике, теоретической и прикладной электрохимии (гальванические производства). В каждой из указанных областей этот термин сочетается с другими, образуя множество понятий (электродный потенциал, потенциал активации, потенциал перехода и т. д.). Для правильного понимания их значения необходимы дополнительные специальные знания в соответствующей научно-технической области[5].

Любая научно-техническая дисциплина помимо специфической терминологии имеет и присущий ей понятийный аппарат, зачастую весьма отличный от применяемого в другой. Именно поэтому представители различных технических и технологических специальностей часто недостаточно хорошо понимают друг друга. Одной из причин такого положения является то, что генетически (как было показано выше) возникновение различных областей современной технической науки было связано с различными естественными науками. Каждая из последних имеет свои принципы и развивается через смену своих, присущих лишь ей, парадигм. Однако всякая конкретная техническая область имеет в своем составе также то знание, которое можно назвать общетехническим. Например, этапы проектирования любого технического устройства, агрегата, материала — одинаковы; всякая технологическая документация, описывающая самые разнообразные технологии, имеет однотипную стандартизированную структуру и т. д. Далее, конкретная техническая область в процессе своего совершенствования и развития часто вбирает в себя сведения, приходящие из разных областей естественнонаучного знания. Таким образом, со временем два далеко отстоявших друг от друга научно-технических направления могут обнаружить тенденцию к сближению. И наоборот, технические сведения и технологиче-

[5] См.: Новый политехнический словарь. Научн. изд. Большая Российская энциклопедия. М., 2000. С. 263, 288, 408, 409.

ские приемы, прежде необходимые в какой-либо области, могут по прошествии некоторого времени (сотен лет, а иногда и десятилетий) показаться анахронизмом.

Проиллюстрируем сказанное на исторических примерах. Так, первоначально в развитии авиации огромную роль играла древесина и материалы на ее основе. Технологии по созданию, обработке и применению таких материалов постоянно совершенствовались. Ряд вполне конкурентоспособных самолетов даже Второй мировой войны были еще преимущественно деревянными. Достаточно вспомнить наш прославленный «небесный тихоход» По-2, английский истребитель Москито или гигантские планеры, осуществлявшие выброску десантных войск союзников во время их высадки в Нормандии. Практически два десятка лет (а это весьма большой срок для наиболее динамично развивавшейся в первой половине XX в. области техники, которой являлась авиация) древесина и металл вели технологическое соревнование. В ходе этого соревнования возникли качественно иные, не существовавшие прежде технологии обработки древесины, и, соответственно, появились новые технические специалисты, которые качественно отличались от тех, которые принимали участие в создании первых аэропланов. Однако в конечном счете соперничество дерева и металла в авиации завершилось победой металла, а именно сплавов алюминия, магния, титана и высокопрочных сталей. Парадокс дальнейшего технического развития состоял в том, что хотя большинство этих «деревянных» технологий оказалось невостребованным при последующем развитии авиационной техники, они оказались необходимы в других областях.

Случается, что конкретная техническая разработка оказывается попросту ненужной, поскольку развивавшееся параллельно техническое направление показывает несравнимо более эффективные результаты. Так было с теми образцами вычислительной техники, звукозаписывающих и звуковоспроизводящих устройств, в которых не использовались носители информации на магнитной основе. В настоящее время многим покажутся одинаково несовершенными и патефон начала 30-х гг. и радиола начала 80-х гг. прошлого века, хотя в техническом отношении сложность этих устройств (да и качество воспроизведения ими звука) достаточно высоки.

Интересно в этом плане провести аналогию между двумя совершенно разными явлениями: расхождением в развитии технических направлений и расхождением в развитии языков, происходящих от одного протоязыка. Так же как языки, имеющие один регион возникновения, но попадающие в дальнейшем в иное лингвистическое окружение, видоизменяются, приобретают новые слова и выражения, а их носители под воздействием изменяющихся социальных условий создают новые слова и понятия, так и техника, отталкиваясь в своем развитии от некоей общей основы, создает впоследствии в других социальных условиях качественно новую реальность. Реальность эта хотя и связана со своей предшественницей, но при этом, как правило, совершеннее ее. Так, каравелла Колумба и современный океанский лайнер, древнеримская военная дорога и транспортный туннель под Ла-Маншем выполняли и выполняют много одинаковых функций. Все они являются примером технического совершенства своей эпохи. В этом отношении они не лучше и не хуже друг друга, хотя технически разница между ними огромна. Аналогично древнеславянский и русский языки, латынь и современный итальянский — они также попарно связаны общим происхождением и также отвечают или отвечали требованиям своей исторической эпохи. Но какая колоссальная разница между их составом и структурными связями. Любая область техники в ходе своего исторического развития может дать несколько вполне жизнеспособных направлений, другие же направления могут захиреть и даже сойти на нет. Аналогичную картину можно наблюдать и в истории языка.

В структуре научного знания обычно выделяют три основных уровня: эмпирический, теоретический и метатеоретический[6]. Технико-технологические науки —

---

[6] См.: Философия науки: Общий курс / Под ред. С.А. Лебедева. М.: Академический Проект, 2006; *Лебедев С.А.* Структура научного знания // Философские науки. М., 2005. № 10, 11.

одна из областей научного знания, хотя и оформившаяся как самостоятельная несколько позже, чем другие области (логико-математические, естественные и социально-гуманитарные науки).

Как и в любой области научного знания, в технико-технологическом знании для его эмпирического и теоретического уровней можно выделить те же элементы, что и в других науках. В технических и технологических науках, как и во всех других, имеют место **протокольные предложения** (фиксированные описания результатов единичных наблюдений), **факты** (обобщения протоколов), на основе которых формулируются многие **эмпирические законы** и **гипотезы** и строятся **феноменологические теории**. Наряду с этим, технико-технологическое научное знание обладает также рядом присущих только ему особенностей. Одной из главных является наличие в его структуре помимо уровневой, вертикальной организации знания (эмпирическое, теоретическое, метатеоретическое) также и горизонтальной организации (модельно-проективное, тестологическое обыденное знание). То есть необходимо, на наш взгляд, говорить о более сложном строении технико-технологического научного знания, о **вертикально-горизонтальной** его организации с соответствующей сложной сетью взаимодействия между уровнями и блоками. Остановимся подробнее на отдельных составляющих структуры научного техно-знания. Представляется целесообразным выделить в его составе следующие элементы: онтологическое, модельно-проективное, теоретическое, эмпирическое, тестологическое, обыденное, метатеоретическое знание.

Онтологическое знание

Онтологическое знание в научном технико-технологическом знании играет ключевую роль и иерархически превалирует над остальными видами технико-технологического знания. Это объясняется тем, что для любой технической или технологической науки именно онтологическая составляющая определяет не только область (предмет) исследования и соответственно основные понятия этой науки, но и разграничивает различные технонауки между собой. Поясним сказанное. Например, в такой технической науке, как «Сопротивление материалов», принято онтологическое допущение, что любой материал представляет собой изотропную среду. Напротив, такая технологическая наука, как материаловедение, рассматривает неоднородность структуры любого материала как одну из его важнейших характеристик.

Такие различия в онтологическом знании технонаук связаны, в частности, с различным отношением к принципу суперпозиции. Механика (как раздел физики) долгое время оставалась едва ли не единственной теоретической базой технических наук. Принцип суперпозиции как один из основных принципов механики позволял провести анализ любой механической системы и при этом не только описать работу любого сложного устройства, но и оценить на стадии проектирования, каков будет вклад каждой составляющей в работу сложной системы. Однако при дальнейшем развитии технонаук многие из них (особенно технологические) отказались от этого принципа, ибо во многих системах и процессах прямая аддитивность различных факторов не работала, поскольку вступали в действие внутренние эффекты, возникающие при сложении большого количества внутрисистемных характеристик.

В качестве примера онтологического знания в технико-технологических науках рассмотрим онтологию такой технической науки, как «Детали машин». В своем онтологическом аспекте «Детали машин» могут рассматриваться как наука с развитой внутренней структурой. Она имеет ярко выраженное прикладное значение и одновременно является основополагающей для целого ряда технических наук, возникших позднее и связанных с конструированием и созданием самых разнообразных технических объектов.

Рассматривая онтологию собственно «Деталей машин» как специфической технической науки, необходимо выделить ее основные положения[7].

Предметом исследования в деталях машин является решение вопроса о возможности создания машин и механизмов из тех или иных узлов и деталей, для чего используются разнообразные расчетно-конструкторские методы.

Основные понятия деталей машин: **деталь** и **узел.**

Всякая машина (механизм) состоит из деталей. Под **деталью** понимают такую часть машины, которую изготавливают без сборочных операций. Различают простые детали (шайба, шпонка) и сложные (коленчатый вал). Учитывая, что исторически «Детали машин» сложились как общетехническая научная дисциплина, в ней рассматривают только те детали, которые наиболее широко представлены практически во всех без исключения машинах и механизмах — так называемые «детали общего назначения». Объединение нескольких деталей в единую структурную единицу более высокого уровня (в деталях машин это — сборочная единица) называют узлом.

Узел — законченная сборочная единица, состоящая из ряда деталей, имеющих общее функциональное назначение

Помимо этого любой объект, который исследуется методами деталей машин как научной дисциплины и создается благодаря этим методам, должен отвечать ряду требований. Не вдаваясь в детали, отметим, что основные из них — надежность и экономичность. (Строго говоря, эти требования предъявляются практически ко всем техническим системам.) Понятие надежности подразумевает способность сохранять работоспособность на протяжении длительного периода времени и, соответственно, отвечает множеству критериев, которые не только не связаны друг с другом, но часто являются взаимоисключающими. Именно эти

---

[7] См.: *Иванов М.Н.* Детали машин: Учебник для студентов втузов / Под ред. В.А. Финогенова. 6-е изд., перераб. М.: Высшая школа, 1998.

критерии «выводят» «Детали машин» на другие науки. Это как математика, так и естественные науки (физика, химия, биология и др.).

При анализе внутренней структуры деталей машин исходят как из внутренней взаимосвязи отдельных свойств деталей, так и из взаимосвязи различных разделов этой науки, в том числе и их «выхода» на другие науки. Схема этих взаимосвязей представлена на рис. 2.

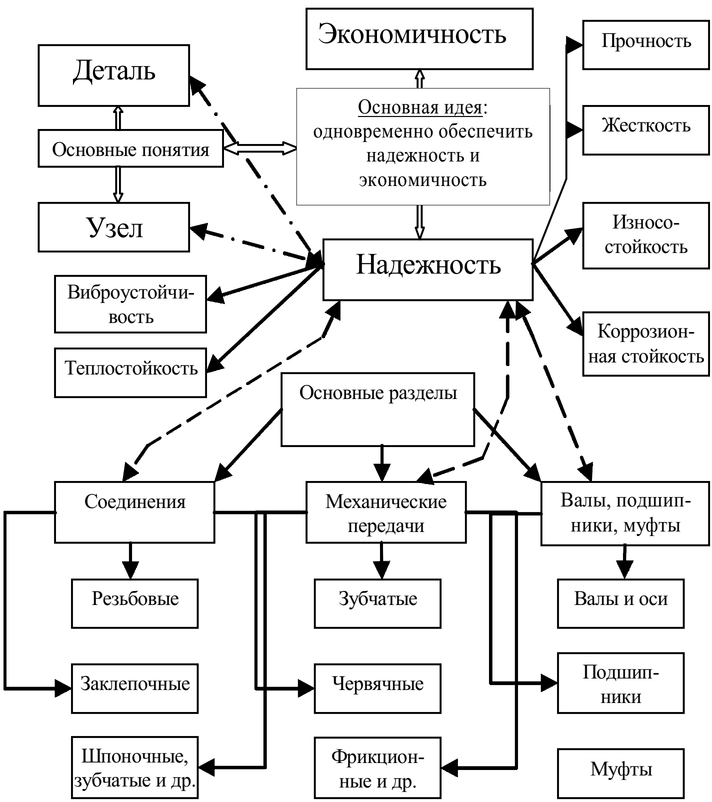


Рис. 2. Внутренняя взаимосвязь отдельных свойств деталей машин и связей различных разделов «Деталей машин» между собой

Фактически каждый из параметров надежности, представленный на схеме, выходит на какую-либо определенную техническую или технологическую науку. Поясним сказанное: износостойкость — это безусловно один из основных показателей работоспособности каждой детали или инструмента, который выходит на такую отдельную научную дисциплину, как триботехника (наука о трении), которая вырабатывает как общие, так и конкретные рекомендации применительно к данному материалу и деталям, сделанным из него. В этом случае теоретические модели «Деталей машин» оказываются в зависимости от теоретических разработок других наук, для которых детали машин выступают как поставщик эмпирического материала. С другой стороны, теоретические разработки триботехники образуют «питательную среду» для теоретических обобщений в других технических и технологических науках, и в частности в «Деталях машин».

Из приведенной схемы следует, что внутренняя сущность такого предмета, как детали машин, отражена во взаимосвязи основных понятий, которые отличают эту науку от других технических и технологических наук. Поскольку основная идея и основные понятия взаимовлияют друг на друга, то на схеме они соединены взаимонаправленными стрелками.

Экономические факторы в целом выходят за рамки предметной области деталей машин и должны рассматриваться как ее межпредметная составляющая. Стоит отметить, что, хотя для «Деталей машин», так же как и для всех технических и технологических наук, экономический фактор не абсолютен, в большинстве ситуаций он может иметь решающее значение. (*Дорогая, но надежная деталь будет оправданно включена в конструкцию космического корабля или самолета, но в силу высокой стоимости ее не поставят на трактор.*) Факторы же, связанные с обеспечением надежности, присутствуют всегда, и именно они являются причиной, порождающей многочисленные взаимосвязи деталей машин с другими науками, как техническими и технологическими, так и естественными (физика твердого тела, химия) и математическими.

Тестологическое знание

Следующим важным видом знания в технических и технологических науках является тестологическое знание. Оно основано на положениях такой науки, как метрология. Эта наука об измерениях, единицах измерений, стандартах, эталонах, средствах измерения. В тестологическое знание входит также описание приборов и принципов их действия, а также результатов измерений, полученных в ходе испытания различных элементов технической или технологической системы. Важнейшим разделом метрологии является **квалиметрия**. Ее предмет — качество технических систем в целом. При этом основной упор делается не на основных и производных показателях качества продукта, а на комплексных его показателях. С этих позиций становится понятным разделение, скажем, между архитектурой и строительными технологиями, поскольку для последних важна именно комплексность показателей, иначе трудно говорить о качественном строительстве.

Тогда как для одних технологических процессов крайне важно получение комплексных показателей, для других — достижение единичных: неважно, как и по каким принципам сконструирован в целом двигатель автомобиля, установившего рекордную скорость, главное, что он сумел ее развить. При этом ключевую роль играет **измерение** контрольных величин. Под измерением в общем понимают количественное «сравнение неизвестного с известным». На примере метрологии отчетливо видна связь технических наук с логико-математическим знанием.

Измерение происходит под влиянием множества случайных и неслучайных аддитивных (прибавляемых) и мультипликативных (умножаемых) факторов, точный учет которых часто невозможен, а результат совместного воздействия — непредсказуем[8].

Главными задачами тестологического знания являются:

---

[8] См.: *Димов Ю.В.* Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник для вузов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2006. С. 203—205.

1. Описание программ, макетов и определений, применяемых для моделирования проекта и осуществления как математического, так и реального эксперимента.

2. Описание стандартов и ГОСТов, которым должны соответствовать измерения, параметры свойств и описаний элементов рассматриваемой конструкции узла, агрегата, машины или технологического процесса.

3. Сравнение характеристик технического изделия и технологического процесса или материала с имеющимися стандартными образцами и нормативными документами.

Последние два пункта начинают действовать только тогда, когда от теоретической модели переходят к натурному образцу или опытному производству.

Модельно-проективное знание

Модельно-проективное знание представляет особый вид технико-технологического знания: значительная его часть может быть отнесена к его теоретическому уровню, но в целом (по задачам и функциям) это отдельный блок технико-технологического знания.

В **технических** науках модельно-проективное познание выступает как проектная деятельность по созданию моделей будущих устройств, узлов, машин, механизмов. Оно имеет специальную семиотическую форму выражения знания, включающую в себя представления и описания следующих компонентов:

- чертежи, схемы, эскизы, технические рисунки;
- проектная документация, включающая технологические инструкции и др.

При этом в специальной литературе различают документацию, относящуюся к принципиально возможному (эскизный проект) или окончательному (технический проект) решению.

В качестве математического инструмента, помогающего графической реализации предлагаемой модели, выступает такая наука, как начертательная геометрия.

В **технологических** науках модельно-проективное знание состоит в описании средств и методов деятельности по созданию моделей будущих материалов и процессов их получения. Реализация этой деятельности должна привести к получению ожидаемого или желаемого результата.

Компоненты модельно-проективного знания в технологических науках:

- описание процессов через формулы, схемы получения на выходе требуемого результата;
- проектная документация, описывающая отдельные этапы (фазы) становления процесса в единое целое;
- проектная документация по организации соответствующего рода деятельности (организационно-производственной), соответствующих технологических процессов и контроля их выполнения.

Для современного модельно-проективного знания в технике и технологии важнейшим средством и компонентом стали компьютерные технологии. Таким образом, модельно-проективное знание представляет в системе технико-технологического знания отдельный блок, в котором теоретическое знание играет ключевую роль. Ясно, что этот блок знания непосредственно связан не только с онтологическим, но и с теоретическим знанием.

Теоретическое знание

Одной из особенностей теоретического знания в технико-технологических науках является то, что оно включает в свой состав теоретическое знание из разных областей науки. При этом теоретическое познание в технонауках, аккумулируя в себе потенциал не только естественных, но и социально-гуманитарных и экономических наук, создает свои научно-методологические подходы к решению самых разнообразных задач. Кроме того, в технических и технологических науках существуют свои теории, описывающие поведение сложных технических объектов и систем, которые не могут быть сведены к логическим, физико-математическим или каким-либо другим конкретно-научным теориям. Примеры таких теорий: теория непотопляемости судна, теория коррозионного растрескивания высокопрочных материалов, теория термической обработки металлов и др.

Образуя единство с онтологическим и модельно-проективным знанием, теоретическое знание находится в постоянном взаимодействии и с другими блоками технознания. Прежде всего это относится к эмпирическому знанию. Скажем об их связи несколько позже, а сейчас приведем еще несколько простых примеров, поясняющих специфику теоретического знания в технических и технологических науках[9].

Известно, что во многих технических устройствах, предназначенных для транспортировки сыпучих грузов, используются каскадные и винтовые спуски.

Последние хорошо известны по спиральным горкам в детских городках и аквапарках. При определении параметров такого технического устройства используется достаточно несложный математический аппарат, однако в конечную формулу, определяющую скорость движения (V), входит экспериментально определяемая величина — коэффициент трения f. Эта величина — достаточно сложная техническая характеристика, на которую действует большое количество разнообразных факторов. Поэтому, анализируя технические возможности этой конструкции, мы должны располагать данными, полученными опытным путем в результате значительного количества технических экспериментов, без которых формула определения скорости движения груза:

$$V = (g \times R\,(\sin\alpha - f \times \cos\beta\,))^{1/2}\,,$$

где g — ускорение свободного падения, а R — радиус кривизны траектории спуска по борту, будет неэффективна.

---

[9] См.: *Андриенков Е.В., Егоров В.В., Логинов В.В.* Транспортирующие машины легкой промышленности. М.: КолосС, 2005. С. 149 – 150.

В **технологических** науках теоретическое научное знание играет не меньшую роль, чем в технических, хотя часто его роль менее заметна. Технологические науки в достаточно большой степени связаны с такими научными областями, как химия и биология, поскольку именно они используются в производстве многих материалов и изделий. Различные положения этих наук становятся теоретической основой знания в соответствующей технологической науке. Приведем в качестве примера процесс покрытия стальных изделий оксидными пленками с целью придания им красивого внешнего вида. Этот процесс уже несколько столетий известен как «воронение». Для того чтобы не только объяснить, что происходит с материалами при проведении этого процесса, но и понять, какие параметры в нем надо изменить для получения конкретного результата, необходимо было установить химизм этой технологии. Процесс состоит из нескольких стадий:

1) растворение железа в щелочи с образованием соли:

$$Fe \rightarrow Na_2FeO_2\ ,$$

2) дальнейшее окисление соли:

$$Na_2FeO_2 \rightarrow Na_2Fe_2O_2\ ,$$

3) взаимодействие солей с различной степенью окисления с образованием магнитного оксида:

$$Na_2FeO_2 + Na_2Fe_2O_2 \rightarrow Fe_3O_4\ ,$$

4) гидролиз окисленной соли:

$$Na_2Fe_2O_2 + (m + 1)H_2O \rightarrow Fe_2O_3 \cdot mH_2O\ ,$$

5) частичная дегидратация гидрата оксида железа:

$$Fe_2O_3 \cdot m\ H_2O \rightarrow Fe_2O_3 \cdot (m - n)H_2O.$$

Именно последний продукт и является «вороненым» покрытием, качество которого зависит от ряда не только химических, но и технологических параметров. Любое отклонение от этих параметров может привести к браку.

В заключение приведем еще несколько примеров использования фундаментальных открытий естествознания в технике и технологии[10].

■ На основе эффекта Вавилова—Черенкова (Нобелевская премия по физике) был создан способ, позволяющий диагностировать патологии зрения.

■ На основе ультразвукового капиллярного эффекта (Открытие № 109 Реестра открытий) был создан способ пропитки пористых тел жидкостями и расплавами.

■ На основе закона Джоуля—Ленца был создан способ получения цементного клинкера, включающий пропускание электрического тока при спекании.

Подобное перечисление можно было бы продолжать практически до бесконечности.

Из приведенных примеров следует, что теоретическая база технических и технологических наук весьма разнообразна и находится в постоянном развитии и взаимодействии с опытными разработками, входящими в блок эмпирического научного знания технических и технологических наук.

Эмпирическое знание

Эмпирический уровень знания занимает во всех технико-технологических науках большое место. Наиболее важное значение оно имеет при проверке теоретического знания. Например, для деталей машин это проверка теоретических предпосылок относительно конкретного узла, соединения или передачи, т. е. для основных теоретических разделов этой науки. Человек, который далек от этой классической технической науки, возможно, воспримет данное утверждение вполне спокойно, рассматривая его в контексте предлагаемой системы взаимосвязей различных уровней технического знания. Однако практически любой бывший студент технического вуза, не специализировавшийся в данной области, зая-

[10] См.: *Дикарев В.И.* Справочник изобретателя. Серия «Учебники для вузов». СПб.: Лань, 2001.

вит примерно следующее: «Какие еще опыты необходимо ставить в деталях машин, где все модели давно разработаны и примерные расчеты нашли свое отражение в справочных таблицах и компьютерных программах?» На самом деле это в корне неверно и отражает лишь психологический аспект восприятия научной информации различными людьми. (*Человек, который не является полностью дилетантом, а до некоторой степени знаком с основными положениями какой-либо научной области, может в своих суждениях о ней допускать большие ошибки. Причем эти ошибки могут быть даже значительнее, чем те, которые сделает человек, ничего конкретного об этой науке не знающий. Имеет место своего рода эффект «кажущейся компетентности». Применительно ко многим техническим наукам он достаточно распространен. Это происходит потому, что многим людям в силу условий их повседневной жизни кажется, что они достаточно осведомлены в различных технических вопросах, поскольку постоянно находятся в контакте с самыми разнообразными техническими устройствами. Человек же, который вообще «ничего не понимает во всякой механике», скорее всего просто откажется от каких-либо оценок, чувствуя собственную некомпетентность.*) Так вот, для деталей машин эмпирическая составляющая не утрачивает своей актуальности, поскольку для любого из разделов этой науки постоянно «находится работа». Это происходит потому, что, с одной стороны, постоянно появляются новые материалы, а с другой — изменяются условия, в которых работают те или иные машины и механизмы. Соответственно возникает необходимость постоянной корректировки уже известных знаний для конкретных условий, что, в свою очередь, не может не порождать новых эмпирических исследований.

Другой пример. Эмпирическое знание в технологических науках вообще, в металловедении и технологии термической обработки в частности — самая обширная составляющая относительно количества документально зафиксированного материала: техническая документация, протоколы испытаний и опытов и т. д. Все основные понятия этой науки: закалка, отпуск, отжиг, нормализация и ряд других — понятия, пришедшие из опыта. Более того, у человека, связанного с производством или являющегося лишь потребителем продукции, подвергшейся термической обработке, может сложиться превратное мнение о том, что «вся наука» здесь «подогнана» под эмпирическое знание. Однако это не так. Хотя опытные факты и послужили основой для построения многих теоретических моделей, но одновременно они и разрушили еще большее число теоретических построений и гипотез в этой области.

Диалектика взаимодействия теоретического и эмпирического в термической обработке металла проявляется на нескольких уровнях. Во-первых, не зная химического состава и структуры данного металла (сплава), невозможно даже предположить: ухудшит или улучшит термическая обработка свойства материала. Во-вторых, все выводы, которые будут сделаны после получения данных об этих свойствах, не могут быть полностью отнесены к теоретическим или эмпирическим, поскольку представляют их синтез. В-третьих, эмпирическое требует проверки при переходе к обработке (термообработке) деталей из того же материала, но имеющих другие параметры (масштабный фактор) или предварительно повергнутых другой обработке, повлиявшей на структуру материала. Такая проверка невозможна без привлечения теоретических знаний. В качестве примера рассмотрим процесс **закалки**.

Целью процесса **закалки** является придание материалу большей прочности и твердости за счет быстрого охлаждения. В основе этого одного из самых распространенных технологических процессов лежит практическое наблюдение эффекта, заключающегося в том, что если раскаленную металлическую пластину резко охладить, то будет именно так. Первоначально это обнаружили применительно к медным сплавам, затем перенесли и на сплавы железа. Без этого процесса не была бы получена сталь, поскольку основная структурная составляющая **стали** образуется именно в результате процесса закалки. Эта составляющая называется **мартенситом** и придает стали именно тот комплекс свойств, который сделал этот железоуглеродистый сплав главным металлом человечества с момента его появления и до наших дней. К этим свойствам относятся: прочность, твердость, упругость, пластичность при относительно невысокой стоимости. Хотя в XX в. другие материалы и несколько потеснили сталь как конструкционный материал, но по-прежнему этот металл — основа современной техногенной цивилизации.

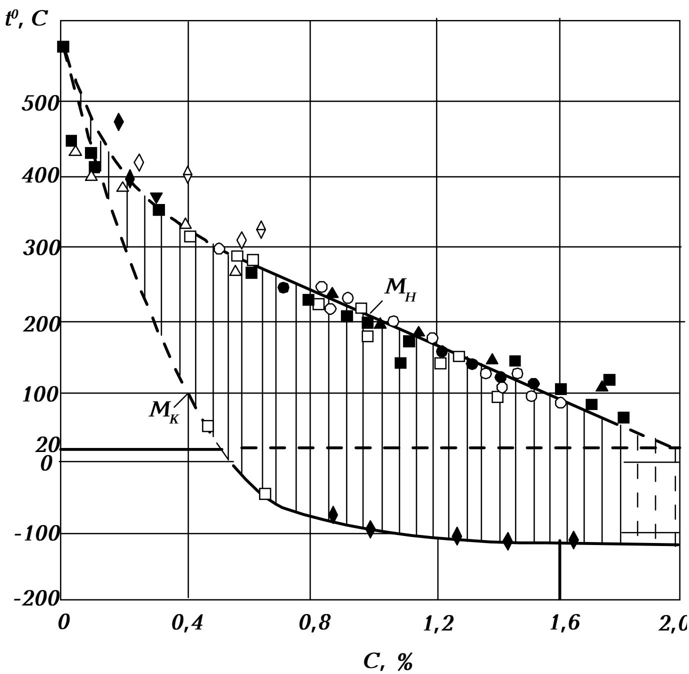


Рис. 3. График начала влияния содержания углерода (С, %) на температуру структурного превращения при закалке

Естественно, что, не имея возможности изучить структуру металла ввиду несовершенства органолептических методов (других до появления микроскопа просто не существовало), люди пытались связать свои впечатления от того, что фиксировали при закалке их органы чувств, с общими представлениями о природе окружающего мира. Поскольку сопоставимые результаты получались далеко не всегда, то все, что делали средневековые кузнецы с железом, получая из него сталь, приобрело значительный налет мистики.

Эмпирическое знание при этом возводилось в абсолют и становилось частью ритуала. (Недаром фигура кузнеца в мифах, легендах и сказках различных народов имеет налет волшебства.) При этом такое эмпирическое знание оказывалось даже тормозом для дальнейшего развития теоретического знания. Поясним сказанное.

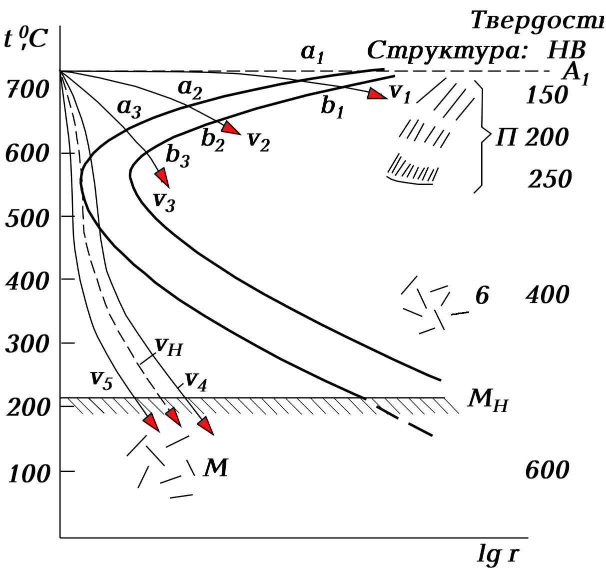


Рис. 4

Для того чтобы проводить процесс ***закалки*** *и осуществить превращение железа, содержащего до 2,14 % углерода, в сталь, деталь должна быть предварительно нагрета до определенной температуры, что обеспечивает структурную однородность (весь металл превращается в твердый раствор углерода в железе — аустенит). Но температура этого превращения сильно зависит от содержания углерода и имеет достаточно сложную нелинейную зависимость. Не умея про-*

вести количественный анализ на углерод и точно измерить температуру раскаленного металла, металлурги долгое время полагались на магические ритуалы, а также на практические сведения о том, что металл, выплавленный из руды разных месторождений и различными способами, требует «неодинакового обращения», но и все это не спасало от брака.

Лишь взаимодействие практики со все более развивающимся теоретическим знанием помогло понять суть происходящего при нагреве и охлаждении металла с разными скоростями и превратить разнородный набор эмпирических данных во вполне оформленную систему, сочетающую в себе «эмпирику» и теорию и позволяющую давать обоснованные практические рекомендации, приводящие к предсказуемому результату, то есть вывести термическую обработку на уровень технологической науки.

Особенностью эмпирического знания в технико-технологических науках является необходимость выражения информации в виде схем и графиков (рис. 3 и 4). Поскольку экспериментальные результаты зависят от множества факторов, то все подобные зависимости обладают достаточно большим разбросом полученных значений. На рис. 3 представлены начало (кривая $M_н$) и конец (кривая $M_к$) структурного превращения в процессе закалки в зависимости от содержания углерода (С, %) в стали. Даже не будучи специалистом, можно видеть, что заштрихованная зона, отвечающая промежуточному состоянию, определяется по согласованным, усредненным данным. С другой стороны, для практических нужд зависимости должны иметь четко выраженный характер, чтобы их можно было применять, гарантируя необходимое качество продукции. Поэтому строятся зависимости, подобные показанной на рис. 4, дающей возможность ориентироваться в осуществлении реальных технологических процессов. В данном случае это подбор режима термической обработки для получения металла с желаемой структурой, которая способна обеспечить необходимую величину такого технологического параметра, как твердость. (На рисунке выражена в единицах HB.)

Обыденное знание

Одна из специфических черт технико-технологического знания состоит в том, что в его формировании и дальнейшем функционировании принимает активное участие обыденное знание, которое в других областях науки занимает не столь большое место. Это происходит, с одной стороны, потому, что само существование человека уже давно зависит от исправности множества технических устройств и нормального функционирования различных технологических процессов. При этом чем выше степень развития цивилизации, тем более эта зависимость усиливается. При использовании техники большинство людей не интересует ее устройство и способ изготовления. Нормы и правила при работе с техническими устройствами и пользовании различными материалами трансформируются в особый род знания, который можно назвать **обыденным технознанием**. *Примером такого знания могут служить плакаты типа: «Не подходите к близко идущему поезду!», «Выключайте неработающие электроприборы!», «Снизьте скорость — скользкая дорога!» и т. д.* С другой стороны, именно подменой научного знания обыденным объясняются многие ошибки при работе с самыми разнообразными приборами и устройствами: параметры работы изменились, но человек, привыкший быть лишь стандартным потребителем, не замечает этого и продолжает действовать по-старому.

Положительная же сторона взаимодействия обыденного и научного знания в технике и технологии заключается в том, что именно на уровне обыденного знания формируются первоначальные требования по улучшению различных технических и технологических характеристик. Оформляясь на обыденном уровне, они затем трансформируются в различные техническо-технологические новации. Те, в свою очередь, после их внедрения делаются объектами, ценность которых также оценивается обыденным сознанием. В этом взаимодействии научного и обыденного знания, безусловно, заключается один из источников развития технико-технологического знания.

Обыденное знание нельзя полагать тождественным эмпирическому, хотя оно, безусловно, связано с ним. Дело в том, что эмпирическое знание — это более сложный тип знания по сравнению с обыденным. Здесь сознательно применяется целый ряд методов научного познания (систематическое наблюдение, эксперимент, абстрагирование, индукция, математическая обработка данных опыта и т. д.).

Разумеется, еще более обыденное знание отличается от теоретического. Примером отличия обыденного знания от теоретического может служить восприятие простейшей задачи из курса «Сопротивление материалов» людьми, имеющими и не имеющими теоретическую подготовку. Эта задача присутствует в любом учебном пособии по сопромату. Решение данной задачи призвано ответить на вопрос: где находится опасное сечение балкона, если человек со значительной массой опирается на перила с силой P? Вульгаризируя этот вопрос относительно теоретического знания, мы получаем с точки зрения обыденного знания тождественный, но звучащий несколько иначе вопрос: в каком месте обвалится балкон?

Задача может быть отображена следующей схемой.

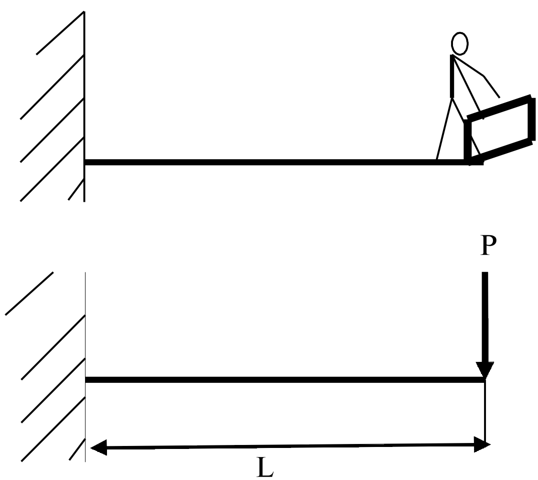


Рис. 5

Требуется определить опасное сечение, если длина балки, жестко заделанной в стену (ширина балкона), равна **L**.

С точки зрения теории опасное сечение находится в месте заделки балки в стену, поскольку в этом месте изгибающий момент М имеет максимальное значение (**M** = **P** × **L**). И это действительно так.

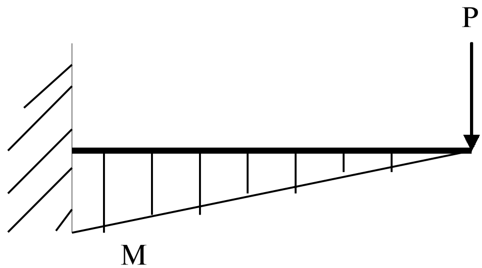


Рис. 6

Однако человек, не знакомый с теорией, достаточно часто отвечает, что опасным сечением на балконе является место опоры на перила, то есть точка приложения силы **P**. Из этого примера видно, насколько отличны друг от друга могут быть выводы, сделанные на основе обыденного и теоретического знания.

Метатеоретическое знание

Этот вид знания в технико-технологических науках представлен компонентами самого разнообразного характера, которые заключают в себе прежде всего оценочные критерии технознания, выдвигаемые другими науками, а также философией. Именно на метатеоретическом уровне осуществляется оценка любой технической и технологической теории, прежде всего с точки зрения ее воплощения в некотором артефакте. Оценка удачи или неудачи конкретной технической науки делается исходя как из внутринаучных ценностных критериев, так и с позиций ее практической применимости. Поскольку в технике и технологии главенствует оценка именно практической значимости теории, то особую роль начинает играть выработка и фиксация критериев, которые привлекаются для оценки.

Рассмотрим в качестве примера изменчивость критериев оценки для такого сложного современного технического изделия, как цифровой фотоаппарат, и лежащих в его основе теорий.

Для технолога, отвечающего за процесс сборки такого фотоаппарата, оценочные критерии будут лежать в первую очередь в тестологической области технико-технологического знания. Для рядового потребителя они суммируются из показателей, оцениваемых главным образом на уровне обыденного сознания. Для фотографа-профессионала это суммирование сведений, относящихся к эмпирическому и теоретическому знанию, а для менеджера по продаже фототехники — апелляция к экономическим знаниям. Таким образом, в аксиологическом аспекте не существует возможности однозначной оценки такого конкретного артефакта, каким является цифровая фотокамера. Дело в том, что научное знание в своем онтологическом и гносеологическом аспектах дает лишь оценку техническому изделию как конструктивно-мыслительному продукту (хотя в данном случае — продукту овеществленному). Помимо этого, можно отметить целый ряд связей данного артефакта с самыми различными сферами научного и ненаучного знания, которые могут быть прослежены применительно к рассматриваемому объекту. В качестве фактора можно отметить даже психологический аспект: переход от съемки пленочным фотоаппаратом к съемке цифровым для многих людей — сложная психологическая проблема. С другой стороны, цифровая фотокамера — это и социокультурное явление: каждый новый этап развития фотографии увеличивает количество людей, которые занимаются этим видом искусства, изменяет взгляды на другие виды изобразительных искусств. В конечном счете формируется общая, так сказать, философская оценка любого явления, учитывающая его научные, экономические, психологические, социальные и обыденные стороны.

Именно метатеоретическое (в том числе и философское) знание позволяет соотнести конкретное технико-технологическое знание с другими видами знания. Оно дает возможность осуществить комплексную оценку самых разнообразных процессов, предметов и явлений, порожденных техногенной деятельностью.

Таким образом, в структуре технико-технологического знания можно выделить следующие составляющие: онтологическое, модельно-проективное, теоретическое, эмпирическое, тестологическое, обыденное и метатеоретическое знание (последнее включает в свой состав и философское знание).

Общая структура технико-технологического научного знания и характер взаимодействия его уровней и блоков могут быть представлены в виде следующей схемы (рис. 7).

Рис. 7. Структура технико-технологического научного знания: основные уровни и блоки

Из этой схемы следует, что взаимодействие отдельных составляющих научного технико-технологического знания носит смешанный характер, который условно можно назвать «уровне-блоковым». Это значит, что при наличии в технонауках вертикали уровней знания, имеющей место и во всех других науках, в технико-технологическом знании можно также выделить ряд блоков, которые специфичны только для этого вида знания и связаны между собой определенной невертикальной иерархией отношений. Эта гетерогенность, качественное различие по содержанию отдельных блоков и уровней технико-технологического научного знания представляет одну из важных его особенностей по сравнению со структурой знания в других научных областях. Поэтому осмысление феномена технико-технологических наук требует особой методологии.

Каждый из блоков научного технознания внутренне связан со всеми другими его блоками. Например, только их совокупность дает возможность проверить надежность и функциональную реализуемость модельно-проективного знания. Все уровни и блоки научно-технического знания испытывают на себе значительное влияние со стороны обыденного и метатеоретического знания. Именно в ходе этого взаимодействия формируются «идеалы и нормы» технической или технологической науки, определяется специфика объекта ее исследования, формулируются основные категории технознания. Метатеоретическое знание связывает технические и технологические науки не только между собой, но и с другими науками и видами знания (логико-математического, естественно-научного, гуманитарного). Только с позиций метатеоретического уровня знания могут быть объяснены некоторые социокультурные особенности технознания, например такие, как требования дизайна применительно практически ко всем областям современной технической деятельности человека, экологическая и цивилизационная составляющая в развитии технических и технологических наук и др.

Необходимо отметить, что приведенная выше схема во многом условна и не может полностью учесть всего многообразия взаимосвязей между отдельными уровнями и блоками технико-технологического знания. Кроме того, каждый из них обладает своей достаточно сложной структурой и имеет свои внутренние особенности и закономерности развития.

Глава 2

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Анализ структуры технических и технологических наук показывает, что между ними не существует принципиального различия в этом плане, хотя каждая из них обладает рядом своих особенностей. Следствием большого сходства их структуры неизбежно является и общий характер закономерностей их развития. Рассмотрим основные из них.

Баланс когнитивных и социальных факторов в детерминации развития технико-технологических наук

Баланс когнитивных и социальных факторов представляет собой ту особенность, которая выделяет технико-технологическое знание из других областей научного знания. Разумеется, социокультурные факторы детерминируют развитие всех наук, но их удельная доля весьма сильно различается для разных научных отраслей и направлений. В этом отношении технические и технологические науки занимают промежуточное положение между естественными науками, с одной стороны, и социально-гуманитарными — с другой. В развитии последних социальные факторы явно превалируют над когнитивными, поскольку в них именно общество является и объектом исследования, и часто его заказчиком. Можно даже говорить о некоторой когнитивной ригидности этого вида знания, поскольку оно слишком часто реагирует на изменения в социальной среде. Например, при всем обостренном интересе современного общества к проблемам экологии позиции естественников и гуманитариев по этим вопросам различаются весьма сильно: представители гуманитарного знания делают акцент лишь на сохранении, сбережении существующей окружающей среды, тогда как представители естественно-научного знания — на принятии мер по ее преобразованию, основанных на глубоком изучении биофизических и биохимических процессов. С другой стороны, очевидно, что именно когнитивные факторы явно доминируют в развитии логико-математических наук, а также в естествознании, хотя в последнем эта детерминация выражена несколько слабее, поскольку дополнена уже влиянием социальных факторов и прежде всего потребностями развития техники и технологии. Однако любой естествоиспытатель стремится в первую очередь расширить свои знания о предмете исследования, удовлетворить свою любознательность. Отчасти именно поэтому многие открытия, сделанные в естественных науках, иногда ждут своего технического внедрения десятки, а порой и сотни лет, поскольку общество часто просто не готово к адекватному использованию соответствующих естественно-научных открытий. Можно привести множество примеров. Например, в оптике были сделаны открытия многих явлений, связанных со светом. Это и выводы И. Ньютона о природе солнечного света как сложного по своей структуре, состоящего из семи цветов, и догадки И. В. Гете о получении любого цвета при чередовании с различной частотой черного и белого. Однако до создания первых приборов, анализирующих свет, прошел не один десяток лет.

В технических же и технологических науках когнитивная и социальная составляющая имеют приблизительно одинаковый вес и находятся в своеобразном динамическом равновесии. Конечно, параметры, характеризующие это равновесие, весьма разнообразны и для разных технонаук, и для разного уровня исследования в одной науке. Их характер и взаимосвязь требуют каждый раз специального исследования. Отметим лишь социально-психологический и политический аспекты этих параметров. В первом случае речь идет о реакции ученых и конструкторов на некий социальный заказ и получении определенных моральных и материальных дивидендов, во втором — о заинтересованности государства в активизации ряда научно-технических и технологических разработок.

По нашему мнению, именно такое, во многом уникальное положение технико-технологического научного знания не дает возможности адекватно оценивать и моделировать его структуру и перспективы развития как с позиций интернализма, так и с позиций экстернализма. Это связано с тем, что **интернализм** представляет собой методологическое направление в истории и философии науки, представители которого считают главной движущей силой развития науки внутренние, когнитивные факторы (собственно научные, частично философские и др.), а **экстернализм** усматривает главный источник развития научного знания непосредственно во внешних факторах (социальных, экономических, политических и др.). Но для развития технических и технологических наук на любой их стадии наблюдается как раз баланс и тех и других факторов. Об этом убедительно свидетельствует вся история этих наук.

Правда, интернализм и экстернализм могут с хорошей степенью приближения моделировать развитие других видов научного знания. Однако это не должно вести к их абсолютизации и необоснованному применению к развитию технико-технологического знания.

Можно предложить следующую схему соотношения когнитивных и социальных факторов в развитии различных областей научного знания.

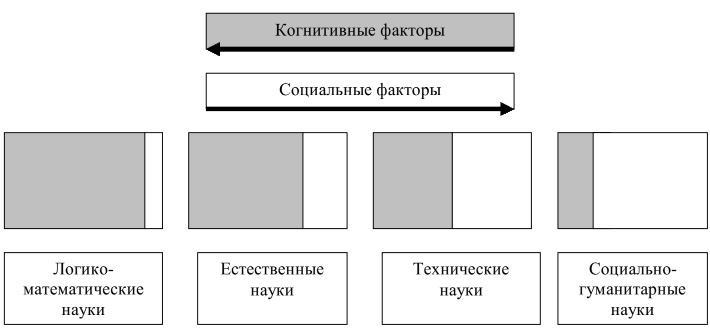


Рис. 1. Схема соотношения когнитивных и социальных факторов для различных областей знания

Следует отметить, что этот баланс когнитивного и социального оказывает технике и технологии «плохую службу» по части восприятия этого вида знания представителями других научных направлений, где один из указанных аспектов является доминантным. В частности, именно этим обстоятельством можно объяснить достаточно часто встречающееся несколько пренебрежительное отношение к ним представителей таких наук, как физика, химия, биология, как к чему-то «не совсем» научному, а выполняющему лишь вспомогательную служебную роль по отношению к «настоящей науке».

Постоянный рост научно-технической и технологической информации

С того момента, как первобытный человек освоил технологию изготовления примитивного каменного рубила из гальки, подобранной на речной отмели (любой современный человек способен научиться этому за час-полтора), обивая одним камнем другой, начался процесс создания и передачи технических и технологических знаний. Принципиальной особенностью этого процесса было то, что это знание не могло быть передано с помощью инстинкта, а закреплялось с помощью обучения в ходе достаточно осознанного социального контакта. Другой особенностью этого процесса было то, что по сравнению с иными приматами и рядом других животных человек со временем проявил ярко выраженную тенденцию к модернизации своих орудий, постепенно сделав этот процесс вполне осознанным и целенаправленным. (*Исторические споры об интенсивности развития того или иного вида первобытного человека, степени его родства с человеком современным и причинах неравномерного развития его знаний и умений хотя и весьма интересны, но лежат вне рамок данной работы.*)

Первоначально обмен информацией происходил лишь между членами конкретной социальной группы. При этом усложнение орудий труда и стремление передать полученные знания другим членам группы, безусловно, приводили к обогащению речи. Следует отметить, что изменения, произошедшие при переходе человека от палеолита (древнего каменного века) к среднему (мезолиту), а затем к новому каменному веку (неолиту), легко прослеживаются не только антропологически, но и по техническому уровню орудий труда, соответствующих этим периодам. Реконструкция древних технологий большим рядом энтузиастов в разных странах показывает, что в каждый из указанных периодов истории человечества, не говоря уже о последующих (бронзовый век, железный век и так далее), количество технологических операций, необходимых для изготовления орудия одинакового назначения (например, каменный нож или топор), увеличивалось в разы и даже в десятки раз. Это увеличение обеспечивало принципиально новый уровень качества, позволявший человеку и обществу развиваться в целом более успешно. Это развитие шло как количественно (рост населения Земли), так и качественно (усложнение социальной структуры общества).

С момента появления письменности передача технико-технологического знания приобрела качественно иные формы. Древнеегипетские папирусы и иероглифы на стенах египетских гробниц, клинописные таблички шумеров и другие письменные источники древности дают нам образец достаточно подробных технологических инструкций по обработке металлов, приготовлению алкогольных напитков, изготовлению духов и многого другого. В последующие исторические эпохи каждый новый носитель информации делал распространение знаний по технике и технологиям еще более интенсивным. Принято полагать, что по сравнению с эпохой научно-технической революции увеличение количества информации в прошлом, связанной со знаниями в области техники и технологии, можно описать линейной зависимостью. Однако в XX в. происходит качественный скачок в росте сведений о технических и технологических разработках, он принимает лавинообразный характер, а увеличение количества таких сведений за определенный отрезок времени (месяц, год, десятилетие) начинает носить экспоненциальный характер.

Одновременно следует отметить, что количество научно-технической информации (например, патентов на изобретения), соотнесенное с количеством населения, испытывает периодические колебания, а в последние два десятилетия проявляет устойчивую тенденцию к снижению[1]. Однозначного объяснения этому явлению не дано, но здесь необходимо, видимо, учитывать как демографические факторы (в планетарном масштабе рост населения все еще продолжается по экспоненте), так и факторы экономические, социальные и ряд других. Например, в Советском Союзе, где доля изобретений в их общем количестве к изобретениям, делавшимся во всем мире, была весьма велика, даже существовали планирование изобретательской деятельности и система материального поощрения изобретателей, которая, правда, стимулировала не столько качество изобретений, сколько их количество. В постсоветской же России ежегодное количество научно-технических изобретений постоянно сокращается.

Многие ведущие фирмы мира стремятся дать как можно более привлекательную рекламу своей продукции, делая упор именно на ее уникальных технических характеристиках (в качестве «ходячих» примеров можно привести телевизионную рекламу о непревзойденных возможностях нового чистящего средства или кухонного комбайна). Но, с другой стороны, те же фирмы стараются как можно сильнее засекретить технологические особенности производства своей продукции.

В целом все же можно сделать утверждение, что в сфере технико-технологического знания имеет место постоянный рост научно-технической информации, хотя четкое аналитическое выражение этой закономерности сталкивается с большими трудностями.

Прерывно-непрерывное развитие технико-технологических наук

Количество изобретений и других технических решений, позволяющих совершать принципиальные прорывы в области техники и технологии, всегда было от-

[1] См.: Изобретательность иссякает? // Наука и жизнь. 2005. № 11. С. 24.

носительно небольшим. Хотя, как отмечалось в предыдущем параграфе, общее количество информации в области технико-технологического знания растет постоянно. История знает периоды, когда за сравнительно небольшой отрезок времени совершались эпохальные открытия. Случалось, что предшествующее развитие естественных наук и технико-технологичекого знания создавало такие условия для появления новых технических и технологических решений, которые носили прорывной характер и затрагивали в той или иной степени все общество (радиовещание, реактивная пассажирская авиация, телевидение, мобильная телефонная связь и др.). Взрывной характер таких скачков приводил к тому, что часто эти достижения далеко не всеми воспринимались однозначно, иногда они приводили к значительным дискуссиям в обществе, а в ряде случаев даже к серьезным формам социального протеста.

В развитии технико-технологического знания имеет место и «эффект исчезновения» невостребованных обществом технических и технологических знаний. Приведем примеры. *Так, археологическими методами было установлено, что в древней Месопотамии чисто опытным путем был изобретен гальванический элемент. Ряд историков даже предполагают, что в библейском ковчеге имело место использование этого древнего изобретения. Конечно, его вряд ли следует считать предшественником аккумуляторов современных автомобилей или батареек к карманным фонарикам и мобильным телефонам. Невостребованность гальванического элемента обществом привела к его полной утрате. Другим примером может служить возвращающийся бумеранг австралийских аборигенов, который по своим характеристикам подобен несущему винту вертолета. Правда, это знание, будучи не востребовано в целях технического совершенствования общества, использовалось в ритуальных целях. (Данный вид бумеранга был не эффективен для охоты.) Греческий огонь также не является предшественником современных зажигательных средств (напалм и др.). Его секрет был утрачен, поскольку Византия отказалась от него из-за политических причин, а пос-*

ле ее крушения огнестрельное оружие (конкуренция со стороны нового технического решения и новой технологии) оказалось эффективнее огнеметного.

Общество часто отказывается расходовать свои ресурсы на продолжение создания машин, механизмов, приборов, материалов и т. п., если они по сумме своих характеристик значительно ниже тех, которые появились в результате технического (технологического) прорыва и стали конкурентоспособнее своих предшественников. Проиллюстрируем сказанное рядом примеров. Так, первоначально информация в самых различных по конструкции вычислительных устройствах (здесь преобладали механические системы; достаточно вспомнить обычный арифмометр, без которого еще полвека назад не обходилась работа ни одной бухгалтерии) фиксировалась на разнообразных носителях. Поскольку технология производства магнитных и полупроводниковых материалов была не развита, то и соответствующие носители информации практически не использовались, хотя об их потенциале в этом качестве уже давно было известно представителям фундаментальных естественных наук. Из приведенной на рис. 2 схемы развития вычислительной техники видно, что при переходе к принципиально новому поколению этой техники свою роль сыграли и социальные факторы, и логика развития науки в целом, но при этом социально-экономические факторы оказались более значимыми. Очевидно, что без огромных финансовых вложений прогресс в создании современных компьютеров был бы или невозможен, или пошел бы не такими темпами.

В качестве другого примера можно привести внедрение робототехники в развитых странах, в частности Японии. Взаимосвязь социального, технического и экономического здесь налицо. *Известно, что мелкие и средние предприятия являются более мобильными по сравнению с крупными корпорациями. С другой стороны, последние располагают значительно большими средствами для модернизации оборудования. Внедрив новую технику раньше, более мелкий производитель способен увеличить свою прибыль (за счет большей производительности нового оборудования происходит* *снижение себестоимости изделия и увеличивается избыточная прибавочная стоимость, получаемая предпринимателем). Однако при снижении конъюнктуры рынка он оказывается не способен расплатиться по кредитам за новое оборудование и может разориться. Именно это и происходило в Японии в 80-е гг., когда мелкие предприниматели разорялись из-за покупки промышленных роботов.*

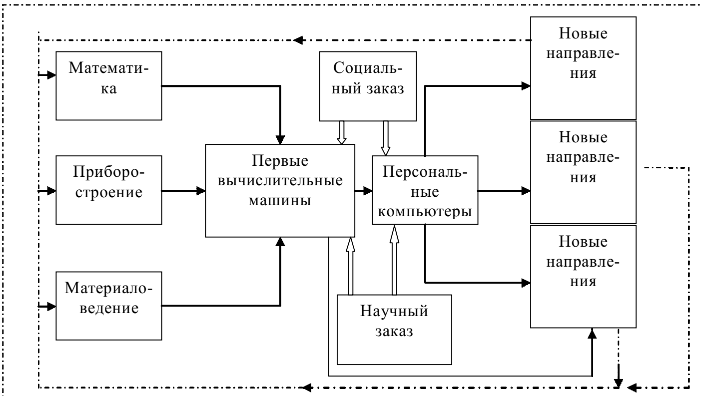


Рис. 2. Схема развития электронно-вычислительной техники как области технических наук

В то же время при попытке применить к развитию технико-технологического знания идею Т. Куна о несоизмеримости сменяющих друг друга фундаментальных теорий[2] мы видим, что при смене технических теорий отсутствует полное отрицание предыдущего знания. Конечно, более совершенное техническое устройство может быть создано на совершенно иных естественно-научных принципах, чем предшествующее (например, лазерный и оптический дальномеры), но тем не менее общее в их применении будет требовать использования ряда положений из старой оптической теории.

Соизмеримость разных технических теорий (в том числе и сменяющих друг друга) обусловлена также наличием в структуре технических наук мощного слоя обы-

[2] См.: *Кун Т.* Структура научных революций. М.: ООО Издательство АСТ, 2001. 608 с.

денного знания. Именно оно не только создает предпосылки для коммуникации и взаимопонимания между представителями старой и новой технической теории, но и между учеными и инженерами, между учеными и техническим персоналом, призванными воплотить новое знание в материальные технические и технологические системы.

Обыденное знание является также транслятором социального заказа и одновременно стимулятором технического прогресса. Эта взаимосвязь между теоретическим и обыденным уровнями знания в технонауках носит существенный характер. Проявление указанной взаимосвязи можно наблюдать, например, при росте числа изобретений, а также рационализаторских предложений (их часто делают люди, мышление которых весьма далеко от уровня теоретического, у них доминирует обыденное знание, опыт, интуиция, профессионально-технический язык). Так, конечно, законы Фарадея дали начало такой технологической науке, как прикладная электрохимия. Но число патентов в этой технологической науке, которые предложили сотни изобретателей-самоучек, составляет многие тысячи, а количество усовершенствований (преимущественно обыденный уровень знания) конкретных процессов (хромирование, никелирование, фосфатирование, анодирование и др.), вероятно, вообще не может быть точно учтено. С другой стороны, именно относительная легкость усовершенствований в данной области и их понимания позволили значительно увеличить производство самых разнообразных покрытий, необходимость в которых была связана с растущими потребностями людей (социальный заказ). Это, в свою очередь, стало стимулом к новым разнообразным научным исследованиям.

Телеологизм развития технических и технологических наук

По сравнению с естествознанием в динамике развития технических и технологических наук роль социального заказа, связанного с удовлетворением человеческих целей и потребностей, является определяющей при постановке и проведении многих исследований. Именно социальный заказ, который в свою очередь формируется как некая «равнодействующая» ряда других факторов (экономических, социокультурных, исторических и др.), определяет причины появления той или иной технической либо технологической новации. Телеологическое начало не может не существовать в технико-технологическом знании, поскольку этот вид знания по своей природе требует высокой степени структурированности при определении как внутренних взаимосвязей, так и направлений развития. Именно поэтому развитие технических и технологических наук протекает в постоянном взаимодействии телеологического и объективно-предметного знания, причем взаимодействие это диалектично по своей природе.

Многое в развитии технических устройств и технологических процессов можно описать, исходя из эволюционных принципов и ряда методологических подходов, характерных, например, для анализа биологических объектов и процессов. Например, рассматривая такое механическое устройство, как часы, можно легко обнаружить в их совершенствовании ряд параллелей с эволюцией биологического организма. Хотя такие аналогии часто могут быть поверхностными, тем не менее они часто употребляются в научно-популярной и даже учебной литературе по техническим и технологическим дисциплинам. *Известно, что часы как техническое изделие прошли ряд этапов усложнения своей внутренней структуры (конструкции). Первоначально механические часы были устроены относительно просто, затем конструкция стала усложняться, но надежность таких часов сначала оставалась крайне мала. Появление технологии получения и термообработки пружинной стали позволило, не усложняя конструкции, резко повысить надежность и уменьшить размеры часов. В дальнейшем механические часы меняли форму и размер, приобретали различные дополнительные функции, адаптированные к условиям работы: светящиеся стрелки в командирских часах, указатель глубины в часах для водолазов, двойной циферблат в шахматных часах* *и т. д. При этом все механические часы сохраняют общность в устройстве механизма (наличие заводного устройства, часовой пружины, регулятора хода, указателей прошедшего временного периода и др.). Естественно, что в этом можно усмотреть аналогию с эволюцией какого-либо класса животных, например млекопитающих, которые при наличии одинаковых или сходных органов приобрели в зависимости от внешних условий (разная среда обитания) разнообразный внешний вид — слоны, дельфины и летучие мыши при всей своей непохожести устроены относительно многих внутренних систем одинаково. Как живые организмы различных классов конкурируют друг с другом, так и механические часы конкурируют сегодня с электронными часами. (В начале 70-х гг. прошлого века многим казалось, что механические часы вообще окончательно исчезнут лет через десять.)*

Однако целесообразность появления того или иного технического объекта или технологического процесса лишь частично зависит от его большей приспособленности (по сравнению с предшествующими) к наличным условиям. *Например, хотя электровоз как машина устроен проще тепловоза, это не означает, что он лучше для перевозки грузов, чем тепловоз. Оба эти вида локомотивов оказываются более или менее эффективны в зависимости от самых разных экономических причин. Эти причины могут быть весьма сложны: стоимость электроэнергии и дизельного топлива, которые могут в различной степени соотноситься с ценами на нефть, в зависимости от того, какова доля нефтепродуктов в производстве электроэнергии данного региона. (Вблизи атомных или гидроэлектростанций даже маневровые тепловозы невыгодны, электровозы будут более востребованы.)*

В технике и технологии целесообразность любой структуры подчинена также строго определенным требованиям, связанным как с законами естественных наук, на которых основана структура и действие соответствующих технических устройств, так и с ограничениями, накладываемыми на техническую систему внутренними закономерностями технического и технологического знания. *(Примером такой внутренней закономерности может служить предельность размеров любого типа двигателя; при увеличении мощности двигателя его масса будет возрастать более быстрыми темпами до тех пор, пока он не достигнет размеров, когда двигатель не сможет передвигать даже себя.)*

Не отвергая необходимости телеологического подхода для объяснения всех особенностей технико-технологического знания, следует рассматривать его применимость к этой сфере несколько иначе, чем к другим областям знания. Как отмечалось выше, это связано с доминированием социального заказа как одного из главных источников развития технико-технологического знания. Хотя структурная целесообразность в технике и технологии выражена достаточно ярко, тем не менее социальные потребности приводят к тому, что техническая или технологическая идея в ходе своей реализации сталкивается с системой социальных ограничений. Такие междисциплинарные области, как техническая эстетика и дизайн, наглядно демонстрируют ограниченные возможности реализации самых интересных технических идей. С другой стороны, они способствуют развитию новых направлений техники и технологии. *Например, для создания новых видов одежды бывают необходимы принципиально новые материалы. Первоначально их создают в виде небольших опытно-экспериментальных партий для костюмов космонавтов, спортсменов-олимпийцев или альпинистов (экономические соображения здесь обычно отступают на второй план), и только впоследствии налаживается их более широкое производство.* При этом, естественно, привлекаются сведения из различных областей знания (технико-технологического, естественно-научного, гуманитарного). В результате часто происходит внутреннее переструктурирование в соответствующем разделе техники и технологии, а принятая система ценностей и функциональных зависимостей пересматривается. Развитие технико-технологического знания оказывается постоянно связанным с развитием социальных структурно-функциональных связей, идет непрерывный процесс выбора наиболее целесообразных путей развития. Именно этот процесс внутреннего и внешнего целеполагания и должен быть охарактеризован как телеологизм в развитии технико-технологического знания.

Эколого-гуманистическая детерминанта как фактор развития технико-технологических наук

Экологическая и гуманистическая детерминанта в развитии техники и технологии проявились далеко не сразу. Необходимо отметить, что в настоящее время их крайне трудно разделить, поскольку развитие техники и технологии привело и к значительным изменениям планетарного масштаба в природе, и к тем цивилизационным сдвигам, которые заставили общество задуматься о необходимости коренной переоценки системы взаимоотношений: человек — окружающая среда. Это произошло лишь после того, как антропогенное воздействие на природу превратилось в техногенное, а более девяноста процентов площади земной поверхности были так или иначе изменены под его влиянием. (Так называемые «вторичные ландшафты». «Первичные ландшафты», то есть такие, которые не испытали антропогенного воздействия, в настоящее время остались лишь в некоторых районах Арктики и пока еще на большей части Антарктиды.) Сейчас значительные территории планеты заняты современными городами и промышленными зонами. Применительно к этим территориям нельзя говорить уже даже о вторичном ландшафте и тем более о неизменности прежних биоценозов (относительно замкнутых, самодостаточных и самовоспроизводящихся систем живых организмов). Поскольку существование человека безусловно зависит от состояния окружающей среды, то общее ухудшение экологической обстановки на планете не могло не вызвать изменение этических оценок человеческой деятельности, связанной с преобразованием природы. Именно техника, выйдя на позиции одного из основных природопреобразующих факторов (только объем ежегодно перемещаемого при добыче полезных ископаемых грунта соотносим с объемом породы, выбрасываемой ежегодно всеми вулканами Земли в отсутствие повышенной вулканической активности), оказалась в общественном мнении во многом ответственна за ухудшение качества жизни, происходящее из-за изменения природных условий, связанных с техногенной деятельностью. Для того чтобы понять изменение этической оценки деятельности человека по преобразованию природы, кратко рассмотрим, как она менялась на протяжении многих лет по мере возрастания степени этого воздействия.

Изначально человек был практически полностью зависим от окружающей среды, но каждое новое техническое достижение и технологическое усовершенствование позволяло ему ощутить себя хозяином положения в достижении какой-либо конкретно поставленной цели. (Так, изобретение лука и стрел, капканов и других ловушек вызвало резкое увеличение добываемой охотой пищи, отодвинуло угрозу голодной смерти, которая постоянно сопровождала первобытного человека. Применение наклонной плоскости и рычага резко подняло производительность множества строительных, в том числе ирригационных, работ. Это положило начало развитию практически всех цивилизаций Древнего мира.) Следует отметить, что хотя вся человеческая деятельность, происходившая в период до начала научно-технической революции, была деятельностью антропогенной, ее масштабы были относительно невелики. Именно поэтому люди обычно приветствовали технические новшества, поскольку видели в них залог дальнейшего улучшения жизни. Высказывания о бережном отношении к природе хотя и делались мыслителями как древнего мира, так и средних веков, но их характер был принципиально иным, нежели в наше время. Весьма глубокие мысли, касающиеся взаимосвязи и взаимозависимости всего существующего в природе, высказывал, например, Тит Лукреций Кар («О природе вещей»).

Конечно, и в доиндустриальную эпоху люди понимали, что резкое потребление любых ресурсов не может не приводить к их истощению, что в дальнейшем отрицательно может повлиять на условия жизни. Именно поэтому принимались законы, ограничивавшие вырубку лесов и охоту в них. В то же время это были меры, подчеркивавшие статус правителя *(в средневековой Англии лишь король мог охотиться на оленей. Простолюдин, пойманный за этим занятием, лишался рук и ног, выставлявшихся для устрашения на всеобщее обозрение в окрестных городках.)* В России первым государственным деятелем, который стремился к сохранению и расширению возобновляемых природных ресурсов, был Петр I. Именно он ввел обязательные лесопосадки, заботясь о материале для строительства флота. Однако в целом отношение к природным ресурсам оставалось еще многие годы чисто потребительским.

Чтобы понять, почему экологическое мышление долгое время не развивалось в качестве составной части научного мировоззрения, необходимо учесть, что хотя антропогенное воздействие и порождало на протяжении всей истории человечества множество экологических кризисов и даже локальных экологических катастроф (опустынивание большинства земель в месте возникновения и развития большинства древних земледельческих цивилизаций во многом является следствием нерациональной хозяйственной деятельности человека), но изменения эти происходили за достаточно большой промежуток времени. Человек скорее видел в таком ухудшении гнев высших сил, чем результат своего труда. При этом поскольку именно внедрение новой техники и технологии помогало решить, хотя бы частично, возникающие проблемы экологического характера, то оно тем более не могло не приветствоваться общественным мнением. В качестве примера можно привести спасение европейских лесов от полной вырубки после перехода на такой вид топлива, как каменный уголь вместо древесины.

Но ресурсы сырья на нашей планете, как известно, не бесконечны, население Земли продолжает расти большими темпами и современные технологии просто «не справляются со своими задачами». Конечно, такое понятие, как «демографический взрыв», довольно точно отражает нынешнюю демографическую ситуацию в большинстве развивающихся стран, да и в планетарном масштабе в целом, однако конфликт, возникший между состоянием планетарной экосистемы, развитием техники и технологии и ростом и потребностями населения, слишком сложен. Его рамки и перспективы развития не могут быть точно определены с позиций какой-либо одной науки, будь то экология, демография, математическое моделирование либо какая-то иная область знания. Но и без попыток такого определения нельзя точно понять, какими путями этот конфликт может быть разрешен.

История человечества знает несколько сценариев развития социальных конфликтов, порожденных экологическими кризисами, имевшими как антропогенный, так и техногенный характер. Приведем несколько примеров. Истощение плодородия почвы было одной из причин, вызвавших значительные социальные потрясения и приведших к упадку цивилизации древних майя — наиболее развитой цивилизации доколумбовой Америки. Деградация продолжалась несколько столетий и к моменту испанского завоевания многие прежде развитые города, бывшие некогда центрами сельскохозяйственной деятельности, оказались или полностью заброшены, или сохраняли лишь незначительную часть своего прежнего населения. Аналогичная деятельность человека, «дополненная» тектонической активностью, привела к гибели критской цивилизации. Цивилизация Океании также столкнулась с невозможностью своего дальнейшего развития, поскольку освоение просторов Тихого океана сопровождалось мощнейшим антропогенным воздействием на хрупкую экосистему океанических островов. В итоге эта цивилизация зашла в тупик и практически исчезла под натиском цивилизации европейской.

Возникает вопрос: способно ли современное общество преодолеть тот гораздо более серьезный кризис, который обусловлен все более усиливающейся техногенной деятельностью человека? В научных публикациях, связанных с этим вопросом, проигрываются самые разнообразные сценарии: от апокалипсических до полностью оптимистических.

В негативных сценариях обращается внимание на продолжающееся все более быстрыми темпами загрязнение атмосферы различными оксидами и различными продуктами сгорания, инициирующими целый ряд физико-химических процессов, которые негативно влияют на жизнь человека.

Конечно, определенные предпосылки для оптимизма есть. С локальной катастрофой (авария на магистральном нефтепроводе или взрыв и пожар на крупном химическом заводе) и даже региональной техногенной катастрофой человечество вполне может справиться. Даже авария на Чернобыльской атомной электростанции и ее ликвидация показали, что колоссальным напряжением сил и средств это возможно. Однако что будет, если подобных аварий произойдет сразу несколько, а масштабы каждой будут такими же или более значительными? Ведь речь пойдет уже о судьбе не десятков и сотен тысяч людей, а о миллионах и десятках миллионов. Естественно, что экологические кризисы, различающиеся по своим масштабам, требуют для своего решения неодинаковых средств и различных по характеру научных разработок, тем не менее есть общий момент, который может помочь в их профилактике. Это — экологическое воспитание.

Сам по себе (на уровне обыденного сознания) человек не способен осознать необходимость крупных экологических мероприятий, поскольку это практически всегда мешает его стремлению потреблять те ресурсы, которые необходимы для поддержания его привычного комфортного существования. Однако часть общества уже осознала проблемы, связанные с экологической безопасностью социума, и активно борется за их решение. Если раньше это было более характерно только для западных стран (пример — активное участие в государственной жизни Германии партии «зеленых»), то в последние годы и в российском парламенте появились не только отдельные депутаты, но и ряд фракций, которые занимаются законотворчеством в направлении улучшения ситуации с охраной окружающей среды и разрешения экологических проблем. (Если оставить в стороне сиюминутные политические интересы, не обходящиеся без спекуляций по «горячим» экологическим вопросам, то нельзя не отметить, что по сути своей подобная деятельность имеет ярко выраженную гуманистическую направленность.) Очевидно, что гражданская экологическая позиция не может не начинаться с получения экологических знаний, формирования экологического мировоззрения, которое позволяет человеку понять свое место в окружающей среде, свою взаимосвязь с ней.

Именно стремление преодолеть проблемы, порожденные негативными изменениями в окружающей среде и связанные с техногенной деятельностью, привели к формированию позиции, увязывающей воедино проблемы развития техники и сохранения окружающей среды. Так формируется новая детерминанта современного развития техники и технологии, которую можно назвать эколого-гуманистической.

Цивилизационная детерминанта как фактор развития технонаук

Всякая цивилизация в своем развитии опирается на различные технические и технологические достижения. Если рассматривать цивилизацию как наивысший уровень социальной общности, существующий на протяжении нескольких сотен и даже тысяч лет, то, соотнося периоды ее развития с изменениями в технике и технологии, можно отметить ряд соответствий. Во многом это связано с социальностью технико-технологического знания по сравнению с другими видами знания, а отчасти и с тем, что уровень технического и технологического развития во многом определяет жизнеспособность одних цивилизаций в их историческом соперничестве с другими.

Генезис и развитие любой цивилизации могут быть соотнесены с определенной суммой знаний, включающей технологии, которые обеспечивают не просто определенный уровень жизни, а такой уровень, при котором возможно расширенное воспроизводство. Даже если цивилизация возникает при избытке природных ресурсов (все великие земледельческие цивилизации древности появились в районах с природными условиями, благоприятными для земледелия и часто позволявшими собирать по два-три урожая в год), через определенное время она начинала развивать новые технологические приемы. (Для древних цивилизаций это — совершенствование севооборота и ирригации.) Естественно, если необходимыми ресурсами обладают соседние территории, то новые технологии обработки, как правило, не появляются. Демографические проблемы решаются не за счет развития техники и технологии, а за счет миграции избыточного населения на соседние территории. Исследователи, занимающиеся проблемой возникновения и развития цивилизаций, при всей разнице позиций (от Тойнби до Гумилева) не берут под сомнение положение о том, что чем более развитым в технологическом отношении является общество, тем, при прочих равных условиях, меньшей является территория, способная прокормить одного человека. Люди, живущие охотой, нуждаются в гораздо большей площади охотничьих угодий по сравнению с земледельцами, проживающими в этой же местности. В этой связи нельзя не отметить, что современные технологии, относящиеся к животноводству, позволяют сделать его в несколько раз более производительным даже в неблагоприятных климатических условиях, вообще не используя свободный выпас домашних животных. В Голландии или Дании количество молока, получаемое от каждой коровы, в два-три раза выше, чем в России, только за счет применения современной техники и технологий. Таким образом, налицо относительно простая зависимость: интенсивное развитие техники и технологии для любой цивилизации особенно востребовано тогда, когда исчерпаны источники экстенсивного развития. Научно-технические новации, овеществляемые за счет новых технологий, позволяют увеличивать материальные ресурсы, что, в свою очередь, дает возможность не только улучшать условия жизни в данном обществе, но и сохранять и даже повышать репродуктивность общества в целом.

То, что русские землепроходцы дошли до Тихого океана и перебрались на Аляску, а испанские конкистадоры в поисках мифической страны золота Эльдорадо обошли всю Центральную и Южную Америку, показывает, насколько какой-либо конкретный ресурс (в данном случае пушнина и золото) может быть притягателен в качестве стимула для экстенсивного развития.

При более внимательном рассмотрении истории человечества хорошо видно, что схема перехода от экстенсивного развития к интенсивному невозможна без появления нового технологического элемента в развитии цивилизации. Вместе с тем стимулы развития техники и технологии и возможности наращивания достижений в этой области слишком разнообразны, чтобы легко предсказать «результирующее направление» в исторической перспективе.

Из истории известно, что бывали ситуации, когда та или иная цивилизация переставала в силу каких-либо причин развивать свой научно-технический потенциал. Но в этом случае через определенный период времени (больший или меньший, от десятилетий до одного-двух веков) ее всегда настигал кризис. Глубина этих кризисов в различные исторические периоды могла весьма сильно различаться, однако все они имеют ряд сходных черт, которые напрямую связаны с технико-технологическими факторами.

Как правило, ни один процесс, связанный с возникновением цивилизационного кризиса, не может быть объяснен с точки зрения какого-либо одного подхода или одной теории, так как является следствием множества различных причин. Однако при этом существует одна и та же закономерность: хотя «спусковым крючком» цивилизационного кризиса выступает кризис социальный, в качестве запускающего механизма выступает кризис в области техники и технологии. От того, как на него отреагирует социум, зависит, будет или нет дальше развиваться социальный кризис, могущий перерасти в общецивилизационный.

Любая цивилизация не может развиваться, если в обществе не существует слоя, который не включен в непосредственно сферу материального производства. Функции этого слоя, так называемой «элиты» общества, достаточно многообразны, и они тем шире, чем более развитым является конкретное общество. (Именно поэтому часто говорят о различных типах элит: интеллектуальной, административной, духовной, научной и т. д.) Чем более развита цивилизация, тем большее количество населения либо переходит в элиту, либо занимается ее обслуживанием. Четкое разделение элитарных слоев, выявление «степени элитарности», взаимоотношений внутри конкретной элиты и между элитами, а также взаимодействия между элитарными слоями и остальной частью общества, является темой множества социально-политических исследований. Но если рассматривать развитие любой элиты с точки зрения развития технико-технологического знания, то можно обратить внимание на следующую тенденцию. В любую эпоху правящие классы опирались (в рамках соответствующей эпохи) сначала на экстенсивные технологии, а затем на интенсификацию. Игнорирование последней, экспансия на соседние государства всегда заканчивались в конечном счете плачевно, даже несмотря на первоначальные успехи. Дело в том, что, как показывает исторический опыт, государства-конкуренты могут одержать верх над другими в конечном счете только за счет более передовых технологий.

Таким образом, можно выделить по меньшей мере шесть закономерностей развития технического и технологического научного знания, которые определяют его особенности. Это:

1. Баланс когнитивных и социальных факторов.
2. Постоянный рост технической и технологической информации.
3. Прерывно-непрерывный характер развития технико-технологических наук.
4. Телеологизм развития.
5. Существенный характер эколого-гуманистической детерминанты в развитии технонаук.
6. Влияние цивилизационной детерминанты на характер и темпы развития технознания.

Естественно, что, говоря об этих закономерностях технико-технологического знания, не следует рассматривать границы их ареала как нечто застывшее. Существуют значительные «зоны перекрывания» между технонауками и другими науками (естественными, математическими, социально-гуманитарными). Технонауки граничат и взаимодействуют со всеми областями науки. Эти контакты не только плодотворны для развития каждой из взаимодействующих областей наук, но они постепенно превратились в одно из главных условий успешного существования и развития всей современной цивилизации.

Глава 3

ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИЙ И ФЕНОМЕН HI-TECH

Термин «высокие технологии» (или Hi-Tech) вошел в лексикон не более двадцати лет назад, но его употребление уже сопровождается множеством мифов, созданных вокруг этого понятия. Помимо терминологических трудностей существует ряд проблем, требующих философско-методологического решения, а именно выявление:

1) специфики механизмов создания технологий;

2) технологий, оказывающих принципиальное воздействие на перевооружение производственной сферы;

3) критериев высоких технологий.

Технологиями называют определенную последовательность методов обработки, изготовления, изменения состояний и свойств сырья или материалов в процессе производства продукции. В настоящее время технологии определяют как сочетание искусства и научных знаний. Но каждый может перечислить многие базовые технологии, такие как плавка и металлообработка, прядение и ткачество, обжиг глины и способы ирригации, которые нам известны со времен первых цивилизаций Египта, Месопотамии, Индии, Китая, Древней Греции и Древнего Рима. С этих же времен развивались технологии услуг: торговля и ростовщичество. В истории техники эти базовые технологии относят к технологиям, разработанным опытным путем. В Новое время старые догмы (например, запрет для христианина быть ростовщиком, а для мусульманина — страховщиком) и идеи подвергались пересмотру, шел процесс накопления новых знаний путем наблюдений и экспериментов. «Рецепт» изготовления переставал быть тайной, так как требовалось разработать последовательность действий для массового производства. Возникла необходимость не только в шедеврах, созданных мастером, но и в продукции промышленных производств Вначале новые идеи и технические усовершенствования вызывали официальное осуждение, но к середине XVII в. ситуация изменилась, о чем свидетельствует факт создания под королевским патронажем Академии наук во Франции и Лондонского королевского общества в Великобритании. С тех пор развитие технологий происходило в контексте ценностей западной культуры. К XVIII в. под технологией стали понимать, прежде всего, инженерное искусство, на что указывает название книги Т. Филипса, опубликованной в Англии в 1706 г. — «Технология: описание искусств, особенно механических искусств». Полвека спустя Дидро описал в монументальной 28-томной «Энциклопедии» не только инженерные науки, но и технологии производства стекла, пиво- и мыловарение. В 1866 г. Джордж Томлисон опубликовал трехтомную «Энциклопедию основных искусств, механических и химических, текстильных, горнодобывающих и инженерных», в которой было положено начало традиции, воспринятой техническими науками, понимать технологию как последовательность операций, разрабатываемых с использованием научных знаний. В XIX в. научные достижения реализуются в новых технологиях, например, производство и передача электроэнергии. В XX в. эта тенденция привела к созданию новых товаров и услуг *только* благодаря успехам науки. Ядерная энергетика и телевидение, синтетическое волокно и удобрения — это и многое другое стало не только торжеством взаимодействия фундаментального знания с техническими науками, но и вызвало ряд проблем, среди которых особое место принадлежит экологическим проблемам. Это привело как к созданию альтернативных технологий (например, технологиям, предусматривающим использование восполняемых источников энергии), так и к разработке жестких экологических требований к используемым технологиям.

К 70-м гг. XX в. была создана, возможно, самая важная производственная технология — информационная. Часто забывают об одном важном «побочном продукте» создания электронной техники. Дело в том, что она не может создаваться на производствах, размещенных в экологически неблагоприятных условиях. Это стимулировало не только восстановление многих экологических параметров среды, но и исследование этих параметров, а следовательно, создание определенных технологий. Компьютеры, информационные технологии и биотехнологии стали прологом к возникновению феномена Hi-Tech. Высокие технологи «стирают» грань между научной лабораторией и промышленным производством, их реализация часто не требует большого числа работников, они создают шедевры технического искусства и модернизируют не только само производство, но и трансформируют всю систему взаимоотношений людей. Человеку предстоит опять решать, как выживать и ориентироваться в этом информационно-техническом мире, наполненном техническими монстрами и чудодейственными устройствами. Итак, технологии прошли первый круг своей истории.

Жизненные циклы технологий

Технологии используются для создания продукции. В них, как мы выяснили, сопрягаются наука, искусство, культура и производство. То есть как создание, так и использование технологий подчиняется закономерностям не только научно-технического развития, но и социально-экономической динамики. Законы конкуренции приводят к смене используемых технологий. Эта смена стимулируема совместным действием экономических законов и логикой научно-технического прогресса. Результатом кооперативного эффекта является жизненный цикл технологии. Этот цикл соответствует периоду от начала внедрения в промышленное производство технологии до снятия ее с производства как уже устаревшей. При этом технологии, совершенствуясь, сменяют друг друга в пределах одного используемого технического принципа. В конце концов потенциальные возможности данного принципа исчерпываются. Дальнейший прогресс оказывается возможным только ценой перехода к новому, то есть к моделям принципиально нового типа.

Внедрение новой техники не обеспечивает плавного возрастания эффективности производства (рис. 1). Дело в том, что новая техника — это вовсе не обязательно наиболее эффективная техника. Особенности динамики экономических показателей за период производства новой техники сводятся в общих чертах к следующему. Стадия начала освоения характеризуется относительно низкой эффективностью. По мере завершения освоения наиболее полно реализуются потенциальные возможности того технического принципа, на основе которого разрабатываются все более совершенные модели. Эта вторая стадия характеризуется возрастанием экономического эффекта до значений, недостижимых на основе прежнего, менее прогрессивного принципа. Наконец, на последней, третьей стадии наблюдается процесс угасания эффективности в связи с приближением морального устаревания в пределах данного технического принципа. Более подробно причины угасания эффективности мы рассмотрим ниже на конкретных «инженерных» примерах. Здесь же нам хотелось бы подчеркнуть вполне объективный характер динамики развития эффективности новых технологий.

Сами по себе экономические исследования и анализ их результатов позволяют констатировать описанные выше особенности динамики эффективности и доказать их общность. Однако следует признать, что они не раскрывают причин угасания эффекта. Механизм этого процесса может быть понят лишь при изучении динамики эффективности тех или иных технических усовершенствований[1]. Поэтому целесообразно рассмотреть конкретные технические примеры.

---

[1] См.: *Мелик-Гайказян И.В., Мелик-Гайказян М.В., Тарасенко В.Ф.* Методология моделирования нелинейной динамики сложных систем. М.: Физматлит, 2001. С. 214—223.

В середине 60-х гг. в штамповочном производстве широко использовались методы обработки деталей давлением. На первом этапе этой обработки в качестве технического средства использовался кривошипный пресс. Создавалась противоречивая ситуация: такой прогрессивный технологический процесс, как обработка давлением, производится на несовершенном оборудовании. Несовершенство пресса заключалось в том, что непосредственная обработка не совмещалась с дополнительными операциями, и они производились последовательно. Этот недостаток невозможно было устранить никакой модернизацией. Был необходим переход к новому техническому принципу — роторным машинам. Появление роторных машин в штамповочном производстве привело к резкому повышению производительности труда и дало значительный экономический эффект.

Особенностью роторной машины, имеющей принципиальное значение, является совмещение обработки заготовок с их транспортировкой. Роторные машины имеют и другую важную особенность: в них транспортная скорость и технологическая скорость имеют относительную независимость по отношению друг к другу. Проще говоря, представим себе, что существует необходимость обработки заготовки для создания некоторой детали. Обработка включает несколько последовательно выполняемых операций: точение, сверление, фрезерование, шлифование и т. д. Причем каждая из операций может быть как черновой, так и чистовой и совершаться разное число раз. Понятно, что операции производятся на соответствующих станках. Понятно также, что заготовку после выполнения каждой операции необходимо переустановить (снять, перенести, установить, закрепить в зажимное устройство другого станка и пр.) на следующий станок. Ротор же позволяет один раз зафиксировать заготовку и при транспортировке от устройства к устройству не прекращать выполнение операций.

Инструментальные блоки располагаются на периферии рабочего ротора и вступают в работу последовательно. С увеличением числа инструментальных блоков производительность увеличивается, а затраты, приходящиеся на одно изделие, уменьшаются. Поэтому производительность машины, а следовательно, и экономическую эффективность можно повышать теоретически неограниченно, увеличивая число инструментальных блоков в рабочих роторах. Однако при этом коэффициент использования оборудования уменьшается из-за увеличения затрат времени на обслуживание и ремонт машины. В итоге зависимость теоретической и фактической производительности от числа блоков имеет различный вид. Таким образом, в рассмотренном случае причиной снижения эффективности при попытке усовершенствовать роторную машину путем увеличения числа инструментальных блоков является уменьшение ее надежности. С другой стороны, эффективность ротора позволила перенести его из области металлообработки в качестве технического принципа в другие отрасли.

Переход к новому типу *технологии* — к *автоматическим роторным линиям* — позволил резко увеличить экономическую эффективность машин этого типа. Автоматическая роторная линия является комплексом отдельных автоматических роторных машин, соединенных между собой транспортными роторами. Роторные автоматические линии представляли собой рациональную систему комплексной автоматизации и поэтому обеспечили улучшение всех технико-экономических показателей, позволяли осуществить автоматизацию при изготовлении целых узлов, то есть одновременное изготовление отдельных деталей с последующей их сборкой и упаковкой. Стремление более полно использовать подобные линии привело к созданию линий, состоявших из большого числа роторных машин и охватывавших весь технологический процесс изготовления изделий. Однако опыт показал, что чем длиннее линия, тем при прочих равных условиях менее надежна она в работе. Одной из причин этого является возрастающее влияние динамики работы всех элементов линии на ее производительность, которое проявляется во взаимодействии отдельных роторных блоков и выражается в уменьшении коэффициента использования;

в увеличении частоты нарушений плотности технологического потока; в увеличении процента брака; в увеличении числа простоев линии при ремонте. Таким образом, мы имеем дело с типично нелинейным поведением, формализация которого при помощи математической модели приводит к построению системы дифференциальных уравнений для динамических переменных. Эти уравнения позволяют связать жизненные циклы технологий, спроса и товара. Сложность задачи определяется ее многопараметричностью, обусловленной большой совокупностью действующих факторов.

Надо иметь в виду, что автоматические роторные линии позволили увеличить производительность труда на 2—3 порядка на предприятиях, производящих из года в год одну и ту же продукцию в очень больших объемах, то есть на предприятиях со стабильной номенклатурой продукции в крупносерийном и массовом производстве. На предприятиях же, выпускающих относительно небольшие партии быстро морально устаревающей продукции (например, в электронной промышленности), то есть там, где требуется частая переналадка оборудования, автоматические роторные линии не были столь эффективны. Для организации этого производства была разработана технология, опирающаяся на обрабатывающие центры с *числовым программным управлением (ЧПУ)*. «Ядром» этих центров являются универсальные станки, способные к быстрой переналадке сочетаний выполнения большого количества разных технологических операций. Данный станок сам по себе представляет венец творения технической мысли, но в силу своей уникальности он очень дорог. Поэтому для выполнения требований экономической эффективности производства обрабатывающие центры с ЧПУ должны использоваться непрерывно.

Хотелось бы обратить внимание на то, что мы говорим не просто о создании новой техники, новой машины, нового устройства, мы говорим о создании принципиальных связей между этими объектами — новых технологиях. Для осуществления одного вида связей были разработаны промышленные манипуляторы — роботы, которые явились по существу транспортной системой между обрабатывающими центрами. На основе робототехники были разработаны *гибкие автоматические производства (ГАП), а позднее гибкие автоматические производственные системы (ГПС)*. Эти безлюдные технологии во многом преобразили производство, но выдвинули требование принципиально иной степени надежности. Причем оценка этой степени является методологической проблемой.

Отметим один немаловажный момент. В своей эволюции технологии усложняются, что становится источником техногенных катастроф. Источники катастроф находятся не только в ошибках операторов или ненадежности отдельных элементов. Возможность катастрофы — это не следствие свойств отдельных частей, а свойство целого. Причиной является сложность технологической системы. Другими словами, в результате «сборки» возникает совершенно новый фактор — сложная динамика системы. Она способна обеспечивать сложные зависимости конечного состояния системы от начального состояния. При этом полный перебор возможных вариантов подобных зависимостей лежит за пределами человеческих возможностей. В подобных системах действует универсальный механизм возникновения неустойчивости, раскрываемый теорией бифуркаций. Он связан с увеличением инерционности обратной связи. Система реагирует не на то, что происходит сейчас, а на то, что происходило раньше. Математическая теория катастроф сама по себе не предотвращает катастрофы, но указывает на некоторые общие черты самых разных явлений скачкообразного изменения режима системы в ответ на плавное изменение внешних условий.

Итак, не само по себе создание новой техники, не увеличение числа технических объектов, не темп научно-технического прогресса повинны в техногенных катастрофах. Технологии «связывают» в одну систему множество операций и производств. Сложность «сборки» создает систему, обладающую собственным поведением, особенности которого следует учитывать. Одним из разделов теории катастроф является математическая теория перестроек сложных систем. Приведем простейшие качественные выводы из этой теории применительно к нелинейной системе, находящейся в установившемся устойчивом состоянии, признанном плохим, поскольку в «пределах видимости» имеется лучшее, предпочтительное устойчивое состояние системы[2]:

1) постепенное движение в сторону лучшего состояния сразу приводит к ухудшению. Скорость ухудшения при равномерном движении к лучшему состоянию увеличивается;

2) по мере движения от худшего состояния к лучшему сопротивление системы изменению ее состояния растет;

3) максимум сопротивления достигается раньше, чем самое плохое состояние, через которое нужно пройти для достижения лучшего состояния, после прохождения максимума сопротивления состояние продолжает ухудшаться;

4) по мере приближения к самому плохому состоянию на пути перестройки сопротивление с некоторого момента начинает уменьшаться, и как только самое плохое состояние пройдено, не только полностью исчезает сопротивление, но система начинает притягиваться к лучшему состоянию;

5) величина ухудшения, необходимого для перехода в лучшее состояние, сравнима с финальным улучшением и увеличивается по мере совершенствования системы. Слабо развитая система может прийти в лучшее состояние почти без предварительного ухудшения, в то время как развитая система, в силу своей устойчивости, на такое непрерывное улучшение неспособна;

6) если систему удается сразу, скачком, а не непрерывно, перевести из плохого устойчивого состояния достаточно близко к хорошему, то дальше она сама собой будет эволюционировать (например, в пределах использования одного технического принципа) в сторону хорошего состояния.

Достаточно высокий уровень технологии, используемой фирмой, позволяет сохранить превосходство в конкурентной борьбе. И напротив, неумение осознать

[2] См.: *Арнольд В.И.* Теория катастроф. М.: Наука, 1990. С. 100—102.

вовремя необходимость смены технологии может привести к потерям на рынке. Причем, как это ни парадоксально, смену технологии следует производить, когда ее экономическая эффективность приближается к своему пику (рис. 1).

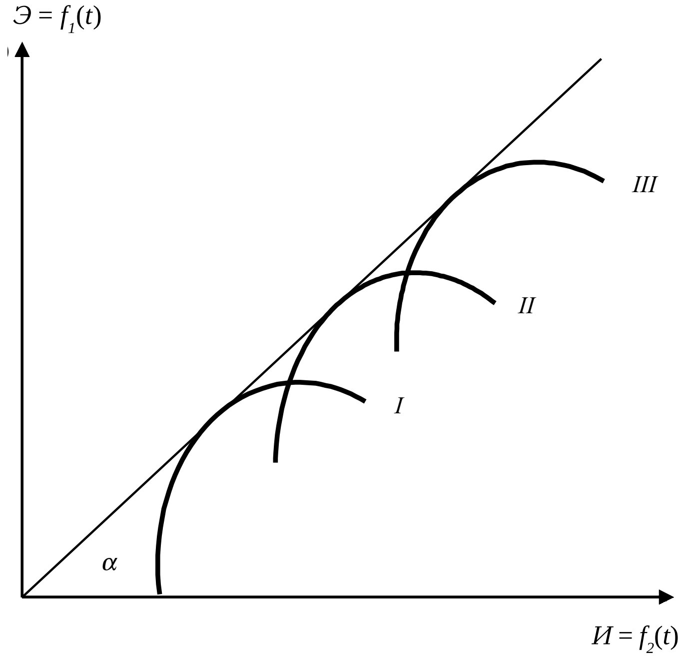


Рис. 1. Динамика эффекта от использования новой техники по стадиям реализации технических принципов: *Э* — конечный эффект от последовательно сменяющихся технических принципов I, II, ...; ∠α — показатель темпов роста эффекта от последовательной смены технических принципов; *И* — инвестиции — функция времени *t*

В определенных отраслях технология превращается в движущую силу, которая может определять стратегическое будущее предприятия. Только надо быть готовым к сопротивлению. История технологий обычно представляется как торжество разума и цивилизации, но ее можно описать и как историю возмущений против внедрения нового, меняющего привычное производство. Заметим, что после того, как новое доказывает свою эффективность, эти возмущения рассматриваются много лет спустя в качестве курьезов.

С конца XX в. счет к информационным технологиям предъявляли и предъявляют многие: блюстители нравственности, шокированные многообразием извращений, переполнившим Интернет; музыканты, чьи гонорары оказались под угрозой; родители, чьи дети задолжали телефонным компаниям немыслимые суммы или свели через чаты сомнительное знакомство. Обвинения высказываются как в адрес создателей программного обеспечения, позволяющего массовым порядком нарушать авторское право; провайдерам, оказавшимися неспособными отфильтровывать злодейские новостные группы; компаниям, выпускающим кредитные карточки; безответственным поставщикам онлайновых медицинских услуг, так и вообще Интернету в целом. Человечество столкнулось с необходимостью вырабатывать новую ритуализированную этику, поскольку стремительное тотальное проникновение информационных технологий во все сферы жизни общества *необратимо*. Читатель данной книги мог найти ее с помощью поиска в Интернете, заменившего поиск в библиотеке, и увидеть этот текст не на бумажных страницах, а на экране своего компьютера. Авторы нашей книги общались при помощи электронной почты. Некоторые из них знакомы друг с другом только по виртуальной переписке. Сама книга создана при помощи информационных технологий не только на стадии подготовки, но и в процессе верстки и печати. Читатель мог купить книгу при помощи Интернета, используя объединение вычислительных ресурсов торговых предприятий и банков, а мог — в магазине, где ее штрих-код был автоматически считан кассовым аппаратом. Полученная информация использовалась не только для печати чека, но и для заказа книги со склада. Данные о продаже нужны как магазину для разработки новых торговых стратегий, так и издательскому бизнесу для прямого маркетинга товаров и услуг. Так или почти так совершается кругооборот электронной информации, обеспечиваемый обращением к информационным технологиям. С чего же начался этот захват, изменивший нашу повседневность, всю систему коммуникаций, облик производства и торговли?

Вычислительная техника и информационные технологии

Технология представляет собой определенную цепь операций изготовления продукции. Причем некоторое устройство может представлять ключевое звено этой цепи. Это устройство усовершенствуется, но важным в контексте данной статьи является принцип организации цепи. Подобно ступеням технических усовершенствований элементов технологии, рассмотренных в предыдущем разделе (ротор, роторная линия, универсальный станок с ЧПУ), происходили изменения вычислительной техники (абак, калькулятор, компьютер).

Хотя развитие компьютеров в основном происходило в XX в., автоматические вычисления имеют длинную историю. Герон в I в. н. э. представлял числа с помощью зубчатых передач. В 1679 г. Готфрид Лейбниц высказал предположение о возможности создания калькулятора, в котором для представления чисел в двоичном коде использовались бы шарики. Еще один элемент вычислительной техники — хранение последовательности команд — тоже имеет давнюю историю, начало которой можно вести либо от самоиграющих музыкальных инструментов древности, либо от предложенного в 1725 г. Базилем Бушоном способа изготовления сложных узоров на ткацком станке с помощью команд на перфорированной бумажной ленте. К началу XIX в. этот метод был усовершенствован Жаккаром для создания высокопроизводительного автоматического ткацкого станка, управляемого с помощью перфокарт. А в конце XIX в. идею применения команд на перфокартах использовал Герман Холлерит для записи и анализа результатов переписи населения в США. Пожалуй, это самые ранние примеры использования информационной технологии по обработке данных, причем как на производстве, так и в социальной сфере. Эффективность данных технологий во всех областях применения станет позднее их отличительной особенностью. Кстати, именно Холлерит основал компанию по производству счетных машинок, которая обратилась затем в IBM.

Можно по-разному трактовать историю создания вычислительной техники и информационных технологий, но важно понимать, что их принципиальное воздействие на все сферы жизни обеспечила «сборка»: принципов действия универсального компьютера (А. Тьюринг), языков программирования, способов хранения в памяти компьютера программ (фон Нейман), изобретения транзисторов и интегральных схем, разработки компьютерной архитектуры (фон Нейман). Результатом этой «сборки» стали мощные суперкомпьютеры, персональные компьютерные и сети. Идеи, воплощенные затем в компоненты, из которых «собрали» компьютер, высказывались в разное время и в связи с решением разных задач. Эффект «сборки» проявился и в том, что многих ученых, которых мы сейчас называем создателями компьютерных наук, объединило в годы Второй мировой войны одно дело — сражение с германской шифровальной машиной «Энигма». Криптографическая битва была поручена службами Великобритании и США группам ученых, в которые входили, в частности, Алан Тьюринг, Джон фон Нейман, Клод Шеннон. Это были великие ученые, поэтому решение ими частной задачи стало прологом к созданию современных информационных технологий. Уже в 1949 г. при участии А. Тьюринга был создан первый полностью работоспособный электронный компьютер Ferranti Mark I, причем этот проект имел коммерческий успех. Для расшифровки кодовых слов в эти группы входили и многие лингвисты. Их коллективные усилия привели позднее (в 1956 г.) к созданию первого языка программирования FORTRAN[3].

---

[3] Считается, что впервые эта идея была сформулирована в XIX в. Августой Адой Лавлейс (в девичестве — Байрон).

История создания вычислительной техники ошеломляет своими темпами. На ее шкале следует отметить создание персонального компьютера, цифрование звука и изображения, что совместно с развитием систем телекоммуникации расширило применение информационных технологий. Вообще, именно развитие телекоммуникационных услуг и неуклонное снижение стоимости аппаратных средств, а не радикальное изменение конструкции вычислительной техники способствует распространению информационных технологий.

В 1950 г. Тьюринг написал философскую статью «Вычислительные машины и интеллект»[4], ставшую классикой для теории искусственного интеллекта. Вопросом «Может ли машина мыслить?» задавались в XIX в. и автор первого проекта программно-управляемой вычислительной машины Чарльз Беббидж, и уже упоминавшаяся нами Ада Лавлейс. Уже тогда утверждалось, что машина лишь реализует то, что в нее «вкладывает» человек. Создание искусственного интеллекта не оправдало надежд романтиков и фантастов, но в этой теории сложилась одна широко применяемая область — так называемые экспертные системы. Они представляют собой программы, имитирующие методы проведения экспертизы, которые достаточно эффективны, например, в медицинской диагностике, при анализе финансовых решений, для геологических изысканий.

Компьютер стал эффективным инструментом для проведения научных исследований, в частности в изучении нервной системы человека. В середине XX в. были предприняты попытки создания искусственных нейросетей. Успехи в разработке персональных компьютеров, операционных систем, глобальных и локальных сетей вызвали в конце 80-х гг. всплеск интереса к нейросетям. По сути своей нейросети являются параллельной обработкой данных, при которой одновременно выполняются несколько операций многими процессорами. Эти сети обладают сложной структурой, способны «к обучению», и ожидается, что эти системы

---

[4] Эта работа вышла на русском языке в виде отдельной книги: *Тьюринг А.* Может ли машина мыслить? М.: Физматгиз, 1960.

будут эффективны при решении новых задач распознавания образов. Тем не менее нет оснований полагать, что человеку удастся научить «машину мыслить», но очевидно влияние компьютера на образ мысли человека.

Информационные технологии не только изменили производство, управление и связь. Они стали основой многих социальных технологий. Эти технологии стали частью культуры. Поэтому можно с уверенностью утверждать, что именно информационные технологии оказали в конце XX в. принципиальное воздействие на перевооружение производственной сферы, поскольку перешагнули границы этой сферы и перестроили реальность культуры. Попытаемся определить направления воздействия на человека информационных технологий. Для этого воспользуемся определениями структурных элементов семиотического механизма культуры[5], которые мы встроим в схему информационного процесса[6] (рис. 2).

В качестве «устройства», вырабатывающего информацию (блок 1, рис. 2), культура создает разветвленное знание — идеи и концепции новых технологий. Эти инновации имеют нормативную функцию. Они предписывают способы переустройства производства, управления, коммуникации и способы ощущения человеком реальности. В качестве яркого примера можно взять high-hume, так называемые гуманитарные технологии, получающие все большее распространение. Это политические, педагогические, имиджмейкерские, рекламные и PR-технологии. Все они являются по сути своей информационными технологиями.

Любая идея новой технологии должна быть зафиксирована в знаках и кодах как научно-технических, так

---

[5] См.: *Лотман Ю.М., Успенский Б.А.* О семиотическом механизме культуры // Лотман Ю.М. Избранные статьи: В 3 т. Таллинн: Александра, 1993. Т. 3. С. 326—344.

[6] См.: *Мелик-Гайказян И.В.* Информационные процессы и реальность. М.: Наука; Физматлит, 1998. С. 107—141; Миф, мечта, реальность: постнеклассические измерения пространства культуры / Под ред. И.В. Мелик-Гайказян. М.: Научный мир, 2004. С. 176—208.

и коммуникативных. Иными словами, инновация требует своего языка, который, по выражению Ю.М. Лотмана, всегда является штампующим устройством культуры (блок 2, рис. 2). Реализация вербальной функции проявляется не только в новоязе (клон, провайдер, нанотехнология etc.) и не только в языке SMS. Английский язык стал средством профессионального общения специалистов разных стран, подобно тому как когда-то языком ученых была латынь. Термины проникают в лексикон повседневности, и, произнося фразу: «это чудо-лекарство (чудо-крем) есть продукт нанотехнологий», человек может и не знать, что «нано» есть одна миллиардная часть метра.

Подобно тому как биосфера — это определенная структура, делающая возможной биологическую жизнь человека, в обществе создается структурность, меняющая социальное существование человека (блок 3, рис. 2). Установилась и стала привычной новая структура коммуникаций. Весь мир может одномоментно, в реальном времени переживать одни и те же события, что часто вызывает когерентность реакции. Кроме этого, изменяется структура производственной сферы, а следовательно, структура профессий, социальных ролей человека. В мире, образуемом информационными технологиями, есть свои искусство, сфера обслуживания, преступления и служба безопасности. Человек создал структуру виртуального мира, ставшего реальнее действительности.

Данная структура фиксирует себя в определенных символах (блок 4, рис. 2). Символическая функция выражает себя в том, что Э. Тоффлер называл клип-культурой и суперсимволической экономикой, продукцией последней являются уже не только вещи, но симуляции, признаки и образы. Вообще эта функция, это направление воздействия имеет и другие продукты, но два названных являются актуальными для выработки моделей и программ поведения человека (блок 5, рис. 2). Новый образный ряд состоит из коротких модульных вспышек информации (клипов) — рекламы, команд, теорий, обрывков новостей и других усеченных кусочков. Эта фрагментация не укладывается в «прежние ментальные ячейки»[7] и требует определенной адаптации человека к жизни в виртуальной реальности.

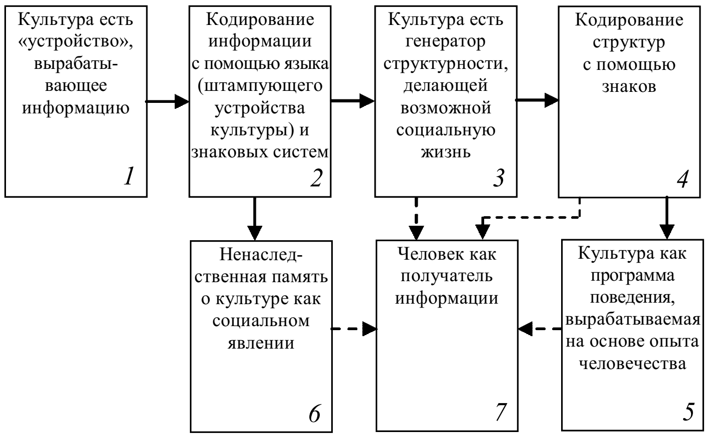


Рис. 2. Воздействие информационных технологий (пунктирными линиями показаны направления воздействия структурных элементов семиотического механизма культуры на человека)

Культурная память требует материальных носителей, бренность которых способна разрушать эту память. Информационные технологии создали не только новые, более надежные и долговечные способы сохранения памяти, но и методы реконструкции прошлого. Выше мы упоминали о фрагментации восприятия реальности, вызываемой действием информационных технологий. С другой стороны, память (блок 6, рис. 2) имеет компенсаторную функцию. Благодаря информационным технологиям удается связывать прошлый опыт со знаниями техническими, знаниями об артефактах, знаниями правовыми и психологическими, знаниями о социально-экономических и культурных последствиях инноваций.

Человек получает много новых монотипических имен, отражающих особенности его жизни в информационно-техническом мире (блок 7, рис. 2). Например,

[7] *Тоффлер Э.* Третья волна. М., 1999. С. 277.

Homo zwischens (от нем. «между») для обозначения сомневающихся, колеблющихся людей, вынужденных в атмосфере неопределенности, когда стремительно изменяются общественные структуры и институты, определяющие его жизнь, принимать рискованные решения. «Человек самоактуализированный» (определение А. Маслоу), в каждой ситуации выбора готовый к риску, к ошибкам, к новым идеям, стремящийся к самосовершенствованию и максимальной реализации своего личностного потенциала, вопреки культурному и социальному окружению. «Нано Сапиенс» как продукт нанотехнологий, благодаря которым человек стремится обрести бессмертие. Информационные технологии создания клонов позволяют человеку почувствовать себя Творцом. Возникают (в который раз) проблемы, которые любые технологии разрешить бессильны. Решение этих задач по силам только философии.

Все перечисленные взаимосвязи создали столь прочную сеть, что она стала почвой, на которой возник новый технологический феномен — Hi-Tech.

Высокие технологии

Технологическая революция конца XX — начала XXI в. самым непосредственным образом повлияла на мировую социокультурную динамику. Основным, что отличает эту технологическую революцию от других, уже бывших в истории человечества, стало появление и быстрое распространение принципиально новых технологий, так называемых высоких технологий (Hi-Tech).

В экономических науках под высокими технологиями понимаются наукоемкие, многофункциональные, многоцелевые технологии, имеющие широкую сферу применения, способные вызывать цепную реакцию нововведений и оказывающие значительное воздействие на социокультурную сферу. В мировой практике к высоким технологиям, как правило, относят те производственные технологии, в которых непосредственно использованы новейшие достижения фундаментальных наук. В качестве примера таких технологий можно привести нанотехнологии, мегаэлектронику, биотехнологии и коммуникационные технологии.

Принципиальным является то, что высокие технологии вызывают *структурные изменения производства* на уровне отраслей и национальных экономик.

В результате внедрения Hi-Tech в современном производстве *продукты преобразуются в системы*, поэтому на рынке предлагаются, например, не станки, а системы машин, обеспечивающие все операции по перемещению и обработке деталей, вплоть до складирования и учета. Центральное место среди высоких технологий занимает коммуникационная техника, позволяющая глубоко расчленить производственный процесс, а затем связать его в единую сеть. Этим обеспечивается гибкость и мобильность производственных систем, их способность быстро удовлетворять все более специфические запросы потребителей. Полное использование таких возможностей коммуникационной техники является решающим условием конкурентоспособности продукции. Также высокая технология *стирает границы между ранее автономными отраслями*. Благодаря комбинированию высоких технологий достигается значительный синергетический эффект. Это, в свою очередь, вызывает *интернационализацию рынков и производств*. Таким образом, автаркия национальных экономик и отдельных предприятий становится все более редким явлением.

Итак, к числу основных критериев, отличающих высокую технологию от обычной, можно отнести: наукоемкость, использование достижений современной фундаментальной науки, влияние на структурные изменения производства и значительное воздействие на социокультурную сферу.

Как следует из изложенного в первом разделе данной статьи, любая технология по своей сути — это *инструмент*, применяемый для превращения потребляемых факторов в продукцию или, более общими словами, для достижения планируемых результатов[8]. Причем

[8] См.: *Желены М.* Управление высокими технологиями // Информационные технологии в бизнесе: Энциклопедия / Под ред. М. Желены / Пер. с англ. СПб.: Питер, 2002. С. 81—89.

этот инструмент не изготовлен из дерева, стали или силиката, а является рецептом, процессом или алгоритмом. Такой инструмент может быть как физическим (механизм, компьютер), так и логическим (методология, технический прием). Технология представляет собой единство находящихся во взаимодействии *ядра технологии*, сформированного из аппаратного, программного и интеллектуального обеспечения, встроенного в *сеть отношений* — физических, информационных, социально-экономических связей.

Итак, любая технология может быть разбита на четыре составные части.

1. *Аппаратное обеспечение.* Физическая структура или логическая схема, установка или оборудование, состоящее из механизмов или приспособлений. Другими словами, это *средства* для выполнения задач, связанных с некоторыми преобразованиями, с целью достижения результата или целей.

2. *Программное обеспечение*. Набор правил, принципов и алгоритмов, необходимых для того, чтобы можно было использовать аппаратное обеспечение (программы, соглашения, стандарты, правила использования) для выполнения задач. Это *ноу-хау («знаю как»)*, позволяющее выполнять задачи с целью достижения результата и целей.

3. *Интеллектуальное обеспечение*. Цели и стремления, причина и обоснование применения или внедрения аппаратного и программного обеспечения определенным способом. Это *«знаю что»* и *«знаю почему»* технологии. Другими словами, это определение того, что использовать или внедрять, когда, где и почему.

4. *Сеть поддержки технологий.* Включает требующиеся физические, организационные, административные и культурные структуры: правила работы, правила постановки задач, содержание работ, стандарты и критерии, стили, культурные и организационные модели поведения.

В качестве примера возьмем автомобиль как технологию: техническое обеспечение автомобиля — это его физическая структура и логическая схема; его программное обеспечение — это операционные правила, такие как «толкнуть», «повернуть», «нажать» и др., которые описаны в руководствах и познаются посредством обучения; интеллектуальное обеспечение поставляется водителем и включает в себя решения о том, куда ехать, когда, как быстро, какой дорогой и ехать ли вообще. Его сеть поддержки состоит из инфраструктуры дорог, мостов, сооружений, светофоров, а также аварийной службы и предприятия, обеспечивающего техническое обслуживание и текущий ремонт; законов и правил поведения и органов, следящих за соблюдением этих законов и правил; стиля и культуры поведения за рулем и т. д. Значительному количеству людей приходится проходить подготовку, отвечающую специальным требованиям, для того, чтобы автомобили функционировали как технология.

Для высокой технологии характерны следующие особенности. Изменение ее технологического ядра *оказывает влияние на всю архитектуру* (структуру и организацию) компонентов сети поддержки технологии. Высокая технология изменяет *качественный характер задач*, их выполнение, взаимосвязи, материальные, энергетические и информационные потоки, а также требуемую квалификацию, исполняемые роли, стили управления и координации, организационную культуру. Другими словами, высокая технология нарушает непосредственную сопоставимость ядра и сети поддержки *за счет изменения самой системы*, требуя вследствие этого *новых критериев и новых оценок ее производительности*.

С позиции высоких технологий можно выделить три этапа в развитии технологий: высокая, обычная (просто технология) и традиционная технология. Когда возникает ядро высокой технологии, оно вынуждает существующие сети поддержки технологии эволюционировать. Тогда как *обычное технологическое ядро* активизирует только количественные изменения архитектуры сети, давая пользователям возможность решать те же самые задачи прежними способами, но более продуктивно, быстро, надежно, более рационально, сохраняя при этом характеристики потоков, структуру системы поддержки, уровни квалификации, стили и культуру.

Технология становится высокой, но она не может такой оставаться постоянно. Современная высокая технология возникает, когда ядро технологии формируется на основе использования результатов, полученных на переднем крае науки. Но постепенно все сводится к простым усовершенствованиям. Новые версии ядра разрабатываются и подгоняются под все более подходящие для них сети поддержки, но при этом эффект высокой технологии все уменьшается. Технология становится обычной, теперь более эффективные версии данной технологии подгоняются под ту же самую сеть поддержки. В конце концов, доходы, получаемые за счет ее эффективности, сокращаются, происходит смещение акцента на третьестепенные атрибуты, такие как внешний вид, стиль, а сама технология становится традиционной, оберегающей сеть поддержки. Наступает состояние технологического равновесия, которое иногда нарушается технологическими превращениями, когда появляется новая высокая технология, и цикл повторяется.

На примере автомобиля видно, что он был высокой технологией по отношению к конному экипажу, далее он эволюционировал сначала в обычную технологию и, наконец, в традиционную технологию, имеющую устойчивую и неизменную сеть поддержки. Предполагается, что единственным высокотехнологичным достижением недалекого будущего может стать электрический автомобиль, который приведет к массовой реорганизации и перераспределению инфраструктуры.

Таким образом, мы видим, что не все современные новые или продвинутые технологии являются одновременно высокими технологиями. Высокие технологии с включением их в массовое производство постепенно становятся обыкновенными современными технологиями. Очевидно также, что в каждой сфере деятельности может появиться своя зона пионерных разработок и исследований, т. е. свой Hi-Tech. Высокие технологии буквально «открывают» (или «закрывают») целые направления деятельности.

Особенность современных высоких технологий в том, что они все больше и больше приближаются к человеку. Если технологии материального производства доиндустриальных и индустриальных обществ изначально были направлены на удовлетворение потребностей человека, но они не предназначались, как правило, для изменения самого человека, то современные технологии уже целенаправленно создаются для изменения биосоциальной и психологической сущности человека, воздействия на его духовный мир и трансформации его. Ряд современных ученых говорит о том, что если конец XX в. был ознаменован появлением и распространением Hi-Tech, то XXI в. будет веком high-hume (высоких гуманитарных технологий).

Развитие высоких технологий трудно спрогнозировать. Сегодня предполагается, что развитие высоких технологий, которые повлияют на будущее, будет связано с такими направлениями, как информационно-коммуникационные технологии, биотехнологии, микро- и нанотехнологии, новые материалы, энергетика.

Появление и широкое распространение высоких технологий влияет на образ жизни и мыслей современных людей. Появились новые социальные феномены: «люди Hi-Tech» и «Hi-Tech-лихорадка». В первом случае речь идет о людях, которые следят за развитием новых технологий, получают большое удовольствие от всяких новых технологических вещей и обязательно купят технологическую новинку, несмотря на значительные финансовые затраты. Во втором случае приобретение новых технических вещиц становится одним из веяний современной моды. В данном случае технологические новинки являются скорее модными игрушками для взрослых людей и служат в первую очередь для демонстрации их социального статуса. Возникли и получают все большее распространение стилевые направления Hi-Tech в искусстве, в архитектуре и дизайне.

Таким образом, мы видим, что Hi-Tech — это сложный и многомерный феномен, который требует своего философского осмысления. Попытаемся обозначить некоторые ключевые философские аспекты проблемы Hi-Tech.

Как мы уже отмечали в первом разделе статьи, на принципиально новом уровне возникает проблема надежности технических объектов вследствие того синергетического эффекта, который создают взаимозависимости технологических связей. Эта сеть взаимопроникающих связей столь тесна, столь плотно «опутывает» человека (рис. 2), что меняет как структуру воспринимаемой им реальности, так и спектр его социальных ролей. Данный феномен иногда называют антропологическим кризисом, который выдвигает вторую проблему — проблему **идентичности человека**.

Проблема идентичности человека отнюдь не сводится только к проблеме идентичности тела, собственной телесности, но, как мы полагаем, затрагивает и социальное самоопределение, и духовные аспекты.

Один из главных векторов, которыми можно охарактеризовать направленность развития науки в последние десятилетия XX в., «это ее неуклонное приближение к человеку, к его потребностям, устремлениям, чаяниям. В результате происходит, если можно так выразиться, все более плотное "обволакивание" человека наукой, его погружение в мир, проектируемый и обустраиваемый для него наукой и техникой. Конечно, дело при этом вовсе не ограничивается одним лишь "обслуживанием" человека — наука и техника приближаются к нему не только извне, но и как бы изнутри, в известном смысле делая и его своим произведением, проектируя не только для него, но и самого же его»[9]. Это особенно хорошо видно на примерах воздействия на человека информационных технологий, био- и нанотехнологий.

Нанотехнологии — это одна из тех немногих областей научно-технического знания, достижения в которой появляются уже после того, как появилась их критика, причем не столько среди ученых и специалистов, сколько среди общественных деятелей и прессы. Одно из перспективных направлений развития нанотехнологий — это создание управляемых машин — нанороботов, работающих на микроуровне. Предполагается использование нанороботов в различных отраслях, в том числе и в медицине.

[9] *Юдин Б.* Этическое измерение современной науки // Отечественные записки. 2002. № 7(8).

Считается, что введенный в организм человека наноробот сможет самостоятельно передвигаться по кровеносной системе, очищать его от микробов или зарождающихся раковых клеток, а саму кровеносную систему — от отложений холестерина. Полностью управляемый наноробот сможет изучить, а затем и исправить характеристики тканей и клеток. Другим направлением применения нанотехнологий в медицине являются работы по созданию нанороботов, заменяющих человеческую кровь («Roboblood»). В этом направлении ведется разработка мультисегментной нанотехнологической медицинской робототехнической системы, способной дублировать все функции крови, включая циркуляцию дыхательных газов, глюкозы, гормонов, отходов, клеточных компонентов, процесс деления цитоплазмы. Эта агрессивная и физиологически навязчивая наноробототехническая система, включающая в себя около 500 триллионов микроскопических наномедицинских устройств общим весом примерно 2 кг, потребляет 30—200 Вт энергии в зависимости от рода человеческой деятельности. Система соответствует форме кровеносных сосудов и служит полной заменой естественной крови. Очевидны плюсы от применения технологий, связанные с укреплением вен и артерий, защитой их от повреждений и уничтожением вредоносных паразитов, что должно привести к повышению физической выносливости человека. С другой стороны, легко представить ряд опасностей, связанных с управлением столь сложной системой, в которой вследствие только ее сложности велика вероятность сбоев. В таком случае наноробот, созданный для лечения человека, может превратиться в киллера.

Генная инженерия и биотехнологии воздействуют напрямую на биогенетические основы человека, что выдвигает множество этических проблем, комплекс которых изучается ныне биоэтикой. Технологии hi-hume как разновидность высоких технологий и способ их продвижения продукции оказывают воздействие на человеческую психику.

Одна из важных особенностей современной высокотехнологичной продукции в том, что она часто создается не под существующую конкретную потребность. Новый продукт, ввиду своей принципиальной новизны, еще не известен потребителю. Сегодня потребителя «форматируют» под продукцию высоких технологий. Приобретение и использование данной продукции «подается» как необходимая деталь статусной идентификации в контексте определенного образа жизни. Влияние на сознание человека, как индивидуальное, так и общественное, становится самым выгодным бизнесом. Современные технологии рекламы и PR создаются на научной основе и используют мощные рычаги для создания потребительских предпочтений, формируя желаемые образы повседневной жизни и профессиональной деятельности. Специфика высоких технологий в том, что возникает зависимость от их разработчиков. Появился даже такой термин — Hi-Tech-лихорадка. Уже сегодня в домах и офисах людей, живущих в развитых странах, буквально «валяется» без дела множество «электронных игрушек», сделанных на основе Hi-Tech. Например, пять самых любимых британцами заброшенных электронных предметов в порядке убывания популярности: мобильные телефоны, стереосистемы, телевизоры, видеомагнитофоны и персональные компьютеры.

Важным представляется также и то, что человек уже нигде не может остаться наедине с собой, его жизнь становится прозрачной. В его личную жизнь и личное пространство постоянно вторгаются другие люди посредством новой техники — Hi-Tech. Сегодня уже практически не вызывает сомнения, что высокие технологии могут коренным образом изменить само понятие «неприкосновенность частной жизни».

И наконец, проблема, с которой мы начали статью, — **проблема восприятия высоких технологий как чуда**. Понятие Hi-Tech сегодня часто может употребляться как метафора, например, когда речь идет о «технологическом чуде», «чудесной технологии», «чудо-технологии», «чуде высоких технологий» и т. п. Сами подобные словосочетания в буквальном смысле представляют собой абсурд, потому что по определению технология основывается на знании и использовании определенных законов природы и никаким образом не связана с проявлениями сверхъестественного.

Развитие технологий — это процесс необратимый. Человечество «обречено» на существование в мире Hi-Tech. Но существует опасность того, что лет так через 50 большая часть людей может оказаться в положении «аборигенов», для которых «нажатие кнопки» означает ритуал «вызова духа этой большой машины». К сожалению, проблема не только в том, что происходит *сознательная мифологизация* Hi-Tech. Сложности заключаются в том, что техническая грамотность населения современных постиндустриальных обществ катастрофическими темпами падает.

Для того чтобы эффективно использовать технологии, необходимы особые знания и умения. О каких знаниях и умениях следует вести речь в первую очередь? Думается, следует обратиться к таким понятиям, как «функциональная грамотность» и «техническая грамотность». Под функциональной грамотностью мы понимаем владение таким комплексом знаний и навыков, который позволяет человеку сознательно и эффективно участвовать в социокультурных процессах, а под технической грамотностью — владение таким комплексом технических знаний и навыков, которые позволяют эффективно использовать технику и технологии по их прямому назначению. В первом случае речь идет скорее о процедурном знании («я знаю, как применить...»), во втором случае к процедурному дополняется содержательное знание («я знаю, как это работает...»).

Разработчики современных технологий прилагают максимум усилий, чтобы свести к минимуму умственные и физические затраты потребителя при эксплуатации данных технологий, т. е. имеется тенденция к *упрощению процедуры эксплуатации высокотехнологичной продукции*, обусловленная высокой конкуренцией. Потребителю сегодня достаточно прочитать инструкцию, в которой написано, в какой последовательности следует «нажимать кнопки», чтобы «нечто» заработало. Функционально грамотный потребитель, прочитав инструкцию, может запустить некий аппарат в действие и знает, как вызвать службу сервиса в случае необходимости, но сегодня он чаще всего представления не имеет, что находится внутри бытового прибора и на основе каких фундаментальных принципов он функционирует, что и дает ему ощущение чуда. К сожалению, это может приводить к таким печальным фактам: пожилая матрона решает высушить любимую кошку в микроволновой печи и, похоронив любимицу, обращается в суд на компанию-производителя печи за то, что она не написала в инструкции, что в микроволновой печи нельзя сушить домашних животных.

Общепризнано, что знания и информация, получаемые современным человеком, относящиеся не только к его профессиональной деятельности, но даже и к повседневному существованию, очень быстро устаревают. В то же время в постиндустриальном обществе отмечается бóльшая доступность научной и технической информации. Но при этом в связи с постоянным ростом объема научно-технической информации и убыстрением непрерывного процесса ее обновления происходит уменьшение глубины, упрощение и огрубление при изучении естественно-научных и технических предметов, как в школах, так и в вузах, идет как бы *«выветривание» фундаментальных знаний из процесса обучения*. В результате получается, что большинство населения современных постиндустриальных и индустриальных обществ компетентно лишь в своем узком поле знаний и деятельности и пользуется легко доступными источниками экономно сконцентрированной и упрощенной информации для поверхностного ознакомления со сферами деятельности, которые они не знают в совершенстве. Но *доступность далеко не означает освоенность*.

При этом парадоксально то, что последняя технологическая революция увеличила число людей, занятых самым примитивным и неквалифицированным трудом. Например, нажимать кнопки на клавиатуре персонального компьютера и использовать его для различных работ теперь способны все люди.

Отметим, что в индустриальном обществе среднестатистическая техническая грамотность населения была на достаточно высоком уровне. Это связано с тем, что техника индустриального общества в основном допускала свой ремонт с помощью подручных средств, вручную, в том числе и в домашних условиях, поэтому *для потребителя имело смысл* практическое знание законов электротехники, механики или других наук. Новые технологии постиндустриального общества (Hi-Tech) значительно более сложны, а основанное на них производство сильно специализировано и автоматизировано, поэтому, как правило, ремонт Hi-Tech продуктов невозможен либо сильно затруднен в домашних условиях. Причем ремонт иной раз может по стоимости оказаться однопорядковым со стоимостью нового изделия, поэтому становится экономически невыгодным. Разработать самостоятельно высокую технологию непрофессионалу тоже сегодня практически невозможно.

Ввиду того что технологические процессы, квалифицируемые как Hi-Tech, значительно усложняются по сравнению с технологиями индустриального производства, и описание Hi-Tech представляет собой большое количество специализированной информации, трудной для восприятия обычного человека. Описание современных технологий все труднее, а порой и совершенно невозможно представить для массового потребителя популярно и на языке здравого смысла. В результате *мир современной техники и технологий теряет наглядность функционирования.* Современная техника и технологии ввиду своей сложности *становятся совершенно непостижимыми* для большинства обывателей.

Если вести речь о тех людях, которые разрабатывают и производят продукты Hi-Tech, то следует отметить, что, как правило, это высококвалифицированные и технически грамотные специалисты, но в достаточно узкой области. Что же касается потребителей Hi-Tech, то мы полагаем, что сегодня у обывателя складывается такое представление: для того чтобы комфортно жить, нет необходимости быть технически грамотным, достаточно быть функционально грамотным.

Таким образом, в современном массовом сознании наука и технология все больше и больше ассоциируются с волшебством. Обыватель все чаще выступает в роли потребителя «технологических чудес».

Это ведет *к росту зависимости и беспомощности человека перед техникой*. А это, в свою очередь, может порождать чувство *персональной безответственности* за те негативные последствия, которые может нести новая техника.

Итак, под *высокими технологиями* подразумевают интенсивность использования научных знаний и наукоемкость выпускаемой продукции, но чаще всего имеют в виду вовлеченность в технологический процесс современных научных знаний, прежде всего в следующих областях: информационные технологии, биотехнологии, электроника, охрана здоровья. Технология всегда выражается в виде *инноваций* — освоения выпуска нового продукта, применения новых технологических процессов или предоставления новых видов услуг.

Следует отметить, что размывается граница между научной лабораторией и производством, а это, в свою очередь, деформирует этические принципы, регулирующие деятельность ученых. С представлением об инновационной деятельности, в ходе которой научный результат, технологическая или конструкторская разработка реализуется с получением коммерческого результата, связывают коммерциализацию результатов исследований и разработок. Основные особенности процесса коммерциализации результатов НИОКР: а) международный уровень конкурентоспособности нового продукта, снижающий инвестиционные риски значительным объемом рынка; б) серьезная правовая защита коммерциализуемых результатов НИОКР, что позволяет уменьшить риски, связанные с вероятностью копирования конкурентом продукта; в) особая роль временного фактора, связанного с общей тенденцией ускорения морального старения продукции; г) наконец, самое важное — изменение всей сети поддержки технологии, что вызывает трансформации в структуре социокультурных систем.

Глава 4

СОВРЕМЕННЫЕ БИОТЕХНОЛОГИИ В УСЛОВИЯХ КУЛЬТУРЫ «ДРУГОГО МОДЕРНА»

Развитие современных биотехнологий происходит в специфических условиях культуры конца XX — начала XXI в. Эти условия немецкий социолог Ульрих Бек назвал термином «другой модерн»[1]. С нашей точки зрения, эта концепция дает адекватное описание специфических для современной науки черт социокультурной среды, в которой реализуют свою активность современные биотехнологии. Ставя вопрос о специфике социального контекста биотехнологий, следует сразу оговориться — захватывающая современного человека историческая ситуация недоопределена. Ее нельзя представить в виде конечного однозначного описания. Более адекватна специфике современной ситуации «квантовая логика», предполагающая многообразие дополнительных модельных описаний предмета и их последующее взаимоотнесение. При этом дискурсы каждого описания тоже как бы удвоены. Они разворачиваются в двух различных планах. Один дискурс конституирует позицию *вне* ситуации, из которой, собственно говоря, можно и вести речь *о ней*. Второй же

---

[1] См.: *Бек У.* Общество риска. На пути к другому модерну. М., 2000.

дискурс ведется изнутри самой ситуации, в результате чего последняя меняется. Причем это изменение не следует понимать только механически, как некоторую добавку к уже существующему. В попытке описания содержится не только некий результат (представление «о»), но и сама попытка, конституирование ее (попытки) как особой черты ситуации. Для современной исторической ситуации и в науке, и в обществе в целом характерно, что они себя как бы постоянно испытывают в попытках самоидентификации и тем самым постоянно себя изменяют — делают иными. Для того чтобы понять функционирование биотехнологий в современной культурной ситуации, необходимо хотя бы кратко охарактеризовать ее особенности.

Наука по ту сторону Истины и Просвещения

По мнению Бека, кочующая из публикации в публикацию приставка «пост...» (постиндустриальное общество, постмодерн, постпросвещение и др.) представляет собой «выражение растерянности, запутавшейся в модных влияниях. Оно указывает на нечто такое сверх привычного, чего не может назвать, и пребывает в содержании, которое оно называет и отрицает, оставаясь в плену знакомых явлений. Прошлое плюс "пост" — вот основной рецепт, который мы в своей многословной и озадаченной непонятности противопоставляем действительности, распадающейся на наших глазах»[2]. Иными словами, приставка «пост...» закрывает здесь и теперь разворачивающуюся незнакомую ситуацию ширмами привычного прошлого — унаследованными от предшествующей эпохи идеями «индустриального общества», «просвещения», «модерна» и т. д. Причем неважно — хотят ли к нему (этому прошлому) вернуться или порвать с ним (совершить жест трансгрессии), оно, прошлое,

---

[2] *Бек У.* Общество риска. На пути к другому модерну / Пер. с нем. Сидельникова В. и Федоровой Н.; Послесл. Филиппова А. М., 2000. С. 9.

остается точкой отсчета, линией горизонта, заслоняющей наступление иного, непривычного.

Поэтому Бек пытается поставить себя в оппозицию как тем, «кто в борьбе с напором «иррационального духа времени» придерживается предпосылок просветительского XIX в., так и тем, кто сегодня готов вместе с накопившимися аномалиями спустить в реку истории весь проект модерна»[3]. Как и Юрген Хабермас, Бек интерпретирует современную ситуацию не как результат исчерпания модерна, но, напротив, как его радикализацию. В современнной ситуации вызревает, по выражению Бека, *другой модерн*, первые проявления которого уже можно различить в экономике, социальной структуре и науке индустриально развитых стран. Это модерн «вершин», переднего края развития политической, индустриальной и научной инфраструктуры современного капиталистического общества. Причем пугающая одних и привлекающая других волна «антимодернистских настроений» в виде антисциентизма, критики технического прогресса, формирования маргинальных социальных движений (политических, религиозных и др.) — все это «не вступает в противоречие с модерном, а является выражением его последовательного развития за пределы индустриального общества»[4]. Иным кажется, что сегодня «гибнет мир». Но на самом деле ускользает в небытие лишь мир XIX в., язык и категориальный аппарат политической и научной рациональности которого до сих пор, как непроницаемая тень, закрывает от нас черты уже наступившей иной реальности. Поэтому Бек ставит своей целью «вопреки еще господствующему прошлому показать уже наметившееся будущее»[5].

Общество риска. Реальность наступившего *будущего* усматривается Беком прежде всего в стремительно формирующихся социально-экономических институтах *общества риска*. Можно, конечно, усомниться — насколько риск специфичен для современной ситуа-

[3] *Бек У.* Общество риска. На пути к другому модерну С. 10.
[4] Там же. С. 11—12.
[5] Там же. С. 9.

ции. Бек задается вопросом — «несет ли понятие риска то общественно-историческое значение, которое здесь ему придается? ...Разумеется, риски не изобретение нового времени. Кто, как Колумб, пускался в путь, чтобы открывать новые страны и части света, тот мирился с неизбежностью риска. Но это был личный риск, а не глобальная угроза для всего человечества, которая возникает при расщеплении атомного ядра или складировании ядерных отходов. Слово "риск" в те времена имело оттенок мужества, приключения, а не возможного самоуничтожения жизни на Земле»[6] .

Другое принципиальное отличие в том, что в предшествующую эпоху (еще господствующую в странах третьего мира и России) риск рассматривался как результат недостаточного развития технологий и научных знаний. В современной ситуации риск формируется избыточностью технологического и научного прогресса.

К концу ушедшего века ситуация в индустриально развитых странах качественно меняется. Формируется новая социальность *общества риска* со своей доминантой движения политических и экономических процессов.

Конгруэнтно с политическими инфраструктурами общества риска формируются и его экономические институты. Риск из отслеживаемого, измеряемого и контролируемого *побочного последствия* научно-технической деятельности оборачивается неисчерпаемым ресурсом нового класса потребностей. «Распространение и умножение рисков нисколько не порывает с логикой развития капитализма, а, скорее... это big business, большой бизнес. Они являют собой то, чего ищут экономисты, — запросы, которые невозможно удовлетворить. Удовлетворить можно голод, другие потребности. Цивилизационные риски — это бездонная бочка потребностей, которые постоянно без конца самообновляются»[7] . Стремительно растущая экономика, удовлетворяющая потребность в снижении рисков и защите от них,

[6] *Бек У.* Общество риска. На пути к другому модерну. С. 23—24.
[7] Там же. С. 26.

сама в силу тех же самых причин является источником новых рисков. Например, фильтры, очищающие воду для питья от «вредных» веществ, сами выделяют в эту «очищенную» воду вещества, способные вызвать в организме человека негативные явления.

В раскручивании социально-экономических систем общества риска особую роль играет наука, которая оказывается одновременно и со-причиной главных цивилизационных рисков, и социально признанным (легитимным) их диагностом («органом восприятия» — лишь наука в силах «увидеть» риски пестицидов, холестерина, сахара, нитратов и т. д.), а также социально-экономическим агентом, призванным разрабатывать новые, более совершенные средства защиты от них.

Как иронизирует Бек, если в отношении индустриального общества был прав Маркс — в нем сознание людей определялось их материальной нуждой (бытием), то в обществе риска отношение переворачивается — сознание риска определяет бытие человека. Правда, сознание особого рода — оно «располовинено» на научное и обывательское. Причем отношение между этими половинами сознания не патерналистично, как это имеет место в классическую эпоху. Оно приобретает в обществе риска опосредованное механизмами рынка и представительской демократии отношение взаимного насилия. Подобная структура возникает как результат процесса, названного Беком «рефлексивным онаучиванием общества».

Рефлексивное онаучивание есть своего рода диалектическое отрицание прежнего онаучивания всех сфер жизни общества, выведения его на уровень метасознания.

В ситуации другого модерна происходит рефлексивное замыкание принципа научного методологического сомнения на саму научную деятельность. Как уже отмечалось выше — силой, вызывающей само-замыкание научной рациональности, оказывается «риск». Дело в том, что обнаруженный обществом цивилизационный риск (прежде всего в форме экологической угрозы) принципиально не наблюдаем монодисциплинарным взглядом.

В ситуации простого онаучивания ученый — эксперт в своей области был самодостаточным в ответе на вопросы: «что происходит?», «почему?» и «что делать?». В новой ситуации обнаруживается явная недостаточность монодисциплинарного подхода. Цивилизационный риск обнаруживается только междисциплинарно.

Пространство *между* в междисциплинарных процедурах оценки цивилизационных рисков выпадает из ведения науки, место которой теперь занимает *общество в целом*. Именно от особой общественной восприимчивости зависит признание или непризнание того, что некий фактор приобретает или не приобретает статус *риска.*

Преобразование науки эпохи простого онаучивания в новый тип, работающий в рамках онаучивания рефлексивного, осуществляется в контексте институализированных практик методологической и философской рефлексии, первый импульс которых — защита научной рациональности от «мистики» и «иррациональности» обыденного и традиционного мышления. Однако попытка провести рационально обоснованную *демаркационную линию* между наукой и ненаукой, будь то в различных вариантах верификационизма или фальсификационизма, завершается результатом, прямо противоположным первоначальным намерениям. Демаркации оказываются не в состоянии выдержать мощь универсального сомнения. «Научная религия, уверенная, что лишь она владеет истиной и вправе провозглашать ее, секуляризировалась в ходе своего онаучивания. Притязание науки на истину не выстояло перед дотошным научно-теоретическим и эмпирическим самодопросом»[8].

Позиция объективного наблюдателя оказалась *нагруженной* предассудками, интересами, особенностями языка, культуры и т. д. Реальность, как и сама наука, приобретает тем самым человекоразмерный вид. Претензии науки на объяснения перекочевывают из сферы истинных теорий в область гипотез. Эмпирия приобретает нестабильный, зависящий от многих контекстуаль-

[8] *Бек У.* Общество риска. На пути к другому модерну. С. 251.

ных факторов вид. «[Ф]акты — давние дары реальности — суть всего-навсего ответы на вопросы, которые можно было бы поставить иначе. Продукты правил сбора и допущения. Другой компьютер, другой специалист — другая "реальность". Чудо, если бы это было не так, чудо, а не наука... Истина была неземным усилием, возвышением до богоподобного... Однажды овладев ею, высказав ее, было крайне трудно ее изменить, а ведь меняется она постоянно. Наука становится человеческой, изобилует заблуждениями и ошибками. Ею можно заниматься и без истины, причем, пожалуй, даже честнее, лучше, многостороннее, наглее, отважнее»[9].

В ситуации рефлексивного онаучивания становится ясно, что прогресс познания не снижает, а увеличивает риск, связанный с практическим использованием научных знаний. Чем более совершенной и изощренной становится наука в исследовании частностей, тем дальше ее экспертные возможности оказываются от решения конкретных практических ситуаций, требующих в оценке риска не упускать *план целого*. Причем снижение способности оценить риск сопровождается стремительно растущей его ценой. Риск при строительстве паровых машин XIX в. несоизмерим с риском при строительстве и эксплуатации ядерных реакторов.

По мнению Бека, наметившийся еще в 60-х гг. XX в. кризис научной рациональности в условиях рефлексивного онаучивания конца века грозит привести к ее (рациональности) полному коллапсу. Однако ни ретроградные попытки вернуться к идеалам прошлого века — эпохи простого онаучивания, ни постмодернистские требования «спустить» научную рациональность в реку истории не являются достойными ответами на новую познавательную и общественную ситуацию. Достойным ответом может стать только формирование *самообучающейся рациональности*, которая открыта восприятию риска и ошибок как необходимых условий (не только неизбежных последствий) научной деятельности и перманентного собственного самоизменения. Для науки «другого модерна», по мне-

[9] *Бек У.* Общество риска. На пути к другому модерну. С. 251–252.

нию Бека, более подходит обучающая теория рациональности, в которой *рациональность постоянно становится другой под действием систематически организованной критики ошибочных действий и возможных рисков*[10].

В настоящее время во многих западных странах созданы специализированные институты, занимающиеся оценкой рисков технологического прогресса. В этих организациях происходит институализация профессиональной *контрэкспертизы*. Медицина критически оценивает новейшие биомедицинские технологии (типа клонирования или генной терапии), физика — новые идеи разрешения энергетического кризиса и т. д. Существенным фоновым условием институализации контрэкспертизы становятся сильные и независимые суды, а также сильное и независимое общественное мнение, реализуемое через СМИ.

Представляется, что новейшие тенденции в области биотехнологий, с одной стороны, полностью подтверждают принципиальные положения концепции Бека, но, с другой стороны, вносят в нее существенные коррективы, учет которых позволит более содержательно подойти к пониманию контекста, в котором биотехнологии реализуют свои цели и задачи. Отметим наиболее существенные моменты на примере геномики, которая является своеобразным лидером в области биотехнологий.

Геномика: пример науки «другого модерна»

Начнем с краткой характеристики основных черт геномики как науки нового типа[11] . Во-первых, развитие геномных исследований фиксирует и учитывает не только *экологический поворот*, при котором научный

[10] См.: *Бек У.* Общество риска. На пути к другому модерну. С. 364.

[11] Более подробно см.: *Tichtchenko P.* Reflections on standards of genetic control // Biomedical Ethics. Tübingen, 1997. Vol. 2. № 3. P. 73—77; Ген-этика // Человек. 1996. № 5. С. 55—65.

разум обнаруживает угрозу в самом себе, но и *биоэтический*. При этом важно отметить то обстоятельство, что угроза, диагностируемая моральным разумом в развитии наукоемких технологий для свободы, достоинства и самоидентичности человека, принципиально не наблюдаема разумом научным. Наука, как объектный тип познания, просто не располагает соответствующими средствами для распознавания и описания такой угрозы. Международный проект «Геном человека», признавая новую ситуацию в диагностике экзистенциальных угроз, впервые совмещает в рамках одной структуры научное исследование с исследованием моральных и правовых условий и последствий осуществления самого научного исследования. Ученый диагностирует угрозы в домене природы как *внешние*, независящие от человека, а философ (биоэтик, например) осуществляет ту же процедуру, но при этом обнаруживает *внутренние* угрозы, обусловленные попытками технически контролировать внешнюю угрозу. Например, геномик определяет специфическое повреждение в ДНК как причину заболевания (рака, метаболических заболеваний и т. д.) и предлагает метод коррекции этой поломки с помощью генной терапии. Одновременно другие ученые должны (и только они могут) диагностировать те угрозы на биологическом уровне, которые связаны с применением самого метода лечения. Вирус, использующийся для перенесения генетического материала в пораженные клетки (*вектор*), сам может оказывать патогенное влияние на организм человека (описаны случаи смерти пациентов генной терапии как результат патологических реакций на вектор).

В свою очередь, моральный философ указывает на опасность превращения человека, выступающего в качестве испытуемого в геномных исследованиях или *донора* генетических материалов, в зависимый объект научных манипуляций («подопытного кролика»), возможность нанесения ему *морального ущерба* и предлагает свои методы защиты человека как личности (моральные правила осуществления научных исследований и геномных манипуляций). Причем использование *моральных технологий* само может нести определенные опасности, например вред моральной стигматизации. Поэтому биоэтика, как и наука, сама проводит себя «сквозь строй» критики, разрушая собственные патерналистские предпосылки и приобретая черты характерной для другого модерна критической саморефлексивности[12]. Критически «подвешиваются»(лишаются статуса *теоретически* обоснованных), хотя при этом и сохраняются в качестве своеобразного *морального инструментария*, центральные концепты моральной философии типа принципа автономии личности.

Во-вторых, моральный разум начинает выполнять свои критические функции в геномике, будучи с самого начала раздробленным на многообразие конфликтующих моральных позиций, философских и богословских воззрений, религиозных исповеданий и т. д. Никакой «центральной» моральной инстанции, автономно и авторитарно способной различить добро и зло, в геномике нет. На ее месте — сеть конфликтующих в публичном пространстве моральных дискурсов, которые в геномике (как и в других областях биомедицины) стянуты в узлы децентрированных социальных институтов, получивших название «этические комитеты». Этические комитеты существуют на уровне отдельных исследовательских организаций, профессиональных сообществ, на национальном уровне, а также на уровне международных организаций типа Совет Европы, ЮНЕСКО, ВОЗ и т. д.

На основе междисциплинарных обсуждений (т. е. *транзитом* через многообразие точек зрения и моральных позиций) этические комитеты вырабатывают различного рода *нормы* и *правила* морально обоснованного научного исследования и практического применения полученных научных знаний. Причем *основание* создается не за счет теоретического философского или богословского усмотрения *глубины* морального порядка, а на *поверхности* — как контингентный эффект междисциплинарной коммуникации в пространстве

[12] См.: *Tichtchenko P.* The Goals of Moral Reflection // Advances of Bioethics. V. 4. P. 51—64.

профанного языка. В этой ситуации с необходимостью априорным условием междисциплинарной коммуникации оказывается *принцип публичности*[13] — ни один аргумент не может быть использован в междисциплинарном моральном диалоге, если он не понятен человеку с улицы — профану, поскольку эксперт в одной области неизбежно сам является профаном во всех остальных.

В-третьих, в геномике радикализуется тенденция, отмечаемая многими исследователями: размывается граница между миром культуры и миром дикой природы, столь характерная для предшествующей эпохи «простого онаучивания». Дело не только в том, что человек обнаруживает в природе следы своего присутствия (обстоятельство, концептуально схваченное в представлениях о техно- и ноосфере). *Геномика впервые начинает совмещать в получаемых знаниях две взаимопротивоположные идеи — открытия и изобретения.* Происходит это событие в связи с постановкой вопроса о праве ученых на патентование открываемых ими генов. В патенте «ген» как бы видится удвоенным взглядом — и как фрагмент независимой от исследователя «природной» реальности, и как изделие — феномен культурной реальности. Патентование не ограничивается сферой геномики. До геномных «изделий» началось патентование генетически измененных для определенных технологических целей микроорганизмов и лабораторных животных[14]. Открытие метода выделения и культивирования стволовых эмбриональных клеток (недифференцированных клеток, из которых, как из ростка, образуются все остальные дифференцированные клетки) одновременно завершилось патентованием самих клеток. Высока вероятность того, что первые клонированные для целей так называемой *тка-*

---

[13] См.: *Richardson H.S.* Specifying, Balancing, and Interpreting Bioethical Principles // The Journal of Medicine and Philosophy. 2000. V. 25. № 3. P. 271 – 284.

[14] «В 1988 г. Гарвард формально запатентовал генетически "спроектированную" мышь, отняв авторские права у Бога и природы...» — см.: *Кастельс М.* Информационная эпоха. М., 2000. С. 66.

невой инженерии эмбрионы (потенциальные люди) будут также запатентованы.

Четвертый аспект, на который необходимо обратить внимание, — это все более четкое расслоение современной науки на теоретическую, занимающуюся поисками истинного знания, и практическую или прикладную, представляющую собой сеть институтов, ориентированных на разрешение чисто практических проблем.

К концу XX в. интерес к стратегиям *единой теории* (например, единой теории биологии или физики) сохранился лишь в маргинальных научных группах, в то время как *большая наука* приобрела навык успешно развиваться вне заботы о теоретическом единстве собственных оснований. Однако последнее не означает распада науки — от распада ее уберегает не единый и целостный теоретический взгляд, а, как минимум, два взаимодополнительных ресурса интеллегибельности, реализующих требования конгруэнтности (связанности) научных представлений. Во-первых, необходимо отметить конгруэнтность на уровне *знания-умения*. Связанность получаемых в различных предметных областях науки знаний раскрывается на уровне прагматик природных преобразований, «know how», которые оказывается возможным *подогнать* друг к другу (усилием и насилием *фронезиса*) в контексте разрешения конкретных практических (в нашем случае — биомедицинских или биотехнологических) проблем.

Соответственно и реальность, в диалоге с которой развивается наука, *связанна* и *внятна* не в смысле единства теоретической картины, но в смысле принципиальной конгруэнтности (подгоняемости) практик ее жизненно-практического и технологического преобразования. Международный проект «Геном человека» свидетельствует о хорошей взаимной подогнанности исследовательских практик в разных странах, прежде всего с точки зрения прагматик исследований. Активная миграция ученых из лаборатории в лабораторию по всему миру обеспечивает их эффективную методическую коммуникабельность (внятность и понятность того, кто, что и как делает). Думается, что даже в прежние времен идея целостной теоретической картины реальности играла также лишь регулятивную роль, мало соответствуя реальной гетерогенности как старой науки, так и особенно современной.

Вторым ресурсом конгруэнтности современной науки (как, впрочем, и во все предшествующие эпохи) является общая среда «сказа» происходящих событий в виде повествований, придающих общий для научного сообщества экзистенциальный или личностный (М. Полани) смысл научной деятельности, а также набор общепонятных «моделей воображения» (Б.Г. Юдин), придающих целостный характер научному опыту. Наиболее важное место в геномике среди моделей воображения занимают «карты генома». Карты координируют относительно друг друга многообразие возможных подходов к открытию/изобретению генотипа человека.

Современные «повествования» в науке достаточно неоднородны. Базовый уровень занимает ориентированная на истину история научных открытий, которая продуцируется как профессиональными историками науки, так и самими учеными. Ученые в своих публикациях постоянно *вписывают* себя в историю. Одномоментно в публикациях для широкой аудитории, телепрезентациях и устных коммуникациях осуществляется также «проговор» происходящего в науке, свивание случающихся событий в цепочки рассказов о происходящем, образующих динамичную «*повествовательную взвесь»* (Е. Петровская).

Заполняющая коммуникативную среду науки повествовательная взвесь неоднородна и нестабильна — она всегда готова расслоиться, дав ресурсы для экзистенциальной внятности рассказов жизненно практических ситуаций *изнутри* миров, открытых многообразным вариантам адвокатской науки, конфликтующим маргинальным центрам ревнителей объективной истины, но, что самое важное, — для языка проговора происходящего в мире каждодневности большой науки. В коммуникативной научной среде, скрепляющей стыки многообразных монодисциплинарных взглядов, постоянно длится «естественный отбор» повествований-гипотез «происходящего» в борьбе за право на существование. Отобранные повествования образуют *контингентную неустойчивую жизненно-практическую границу науки — предельное основание внятности самообучающейся научной рациональности*.

Современная наука из прежней полуфеодально организованной на основе формальных (административных) и неформальных отношений личной зависимости в последние годы все более превращается в рыночную. *Рынок и его специфическая рациональность* становится дополнительным внутри- и вненаучным интеграционным механизмом. *Патент*, о котором уже говорилось, — *это и есть непосредственно рыночная форма научного знания*, которая из прикладной формы оказалась (в связи с патентованием генов) самой что ни на есть фундаментальной. Наука производит знание в форме патентов в том же смысле, в котором промышленность производит другие типы товаров. Как следствие этой гносеологической метаморфозы, происходят существенные преобразования в организационной структуре научных лабораторий и институтов. В них создаются чисто рыночно ориентированные «органы» типа патентных бюро, отделов public relations, групп маркетинга, фондрайзинга и т. д.

Первый этап формирования биотехнологических компаний, представляющих науку рыночного типа, относится к середине 70-х гг. и связан с успехами молекулярной биологии в изоляции, синтезе и клонировании генов млекопитающих, включая человека, манипуляциях с рекомбинантной ДНК и др. М. Кастельс пишет о стремительном росте коммерческих фирм, «большинство из которых были порождением крупных университетов и медицинских исследовательских центров... Журналисты, инвесторы и общественные деятели были поражены устрашающими перспективами, открывающимися благодаря потенциальной возможности инженерного проектирования жизни, включая человеческую жизнь. Genentech в южном Сан-Франциско, Cetus в Беркли и Biogen в Кембридже (Массачусетс) были среди первых компаний, органи-

зованных вокруг нобелевских лауреатов с целью использовать новые генетические технологии в медицине»[15].

Приведу также не менее выразительное свидетельство Ч. Вайнера: «Технологии на основе манипуляций с рекомбинантной ДНК имели огромное научное и социальное значение... Изменилась *биология* и одновременно изменились *сами биологи*. С начала 80-х гг. биологи, весьма далекие от индустрии, становятся консультантами, советниками, основателями, совладельцами, держателями акций и наемными работниками биотехнологических компаний или новых подразделений многонациональных корпораций»[16]. Возникает гибридная форма самоидентификации *ученого-предпринимателя.*

По П. Рабинову, коммерциализации геномных исследований и формированию биотехнологических компаний способствовали три группы факторов: а) достижения молекулярной биологии; б) административная политика, стимулирующая быстрое применение научных достижений в решении конкретных медицинских проблем в сочетании с изменениями в патентном праве, не просто активировавшими коммерциализацию, но принуждавшими к ней; в) правительственная политика финансирования научных исследований, отдававшая предпочтения тем научным программам, которые одновременно могут получить частные инвестиции для расширения своей научно-методологической базы[17].

Рыночный аспект научной деятельности обычно рассматривают как не относящееся к существу научного познания обстоятельство социальной жизни науки. Подобный подход справедлив, если сам акт познания изолировать от социального контекста его осуществления. Совмещение плана открытия и плана изобретения, которое произошло в связи с вопросом о патентовании генов, является еще одним аргументом против представления о социально деконтекстуализированном научном методе. Патент, как форма товара,

[15] *Кастельс М.* Цит. соч. С. 65.

[16] *Weiner Ch.* Anticipating the consequences of Genetic Engenering. Past, Present, Future // Are Genes Us? The Social Consequences of New Genetics. New Brunswick: Ed. Granor C.R., 1994. P. 44.

[17] См.: *Rabinow P.* Making PCR. A Story of Biotechnology. 1996. P. 19.

не только описывает реальность, но и выдвигает своеобразную гипотезу относительно актуальности той или иной человеческой потребности, которую он предполагает удовлетворить. Рынок действует как механизм отбора и оценки (через механизм ценообразования) подобного рода «антропологических гипотез». В результате человек получает возможность перейти от случайного мнения о себе (в частности, о своих потребностях и предпочтениях) к некоторому специфически обоснованному рыночной рациональностью знанию о том, каков он на самом деле. Здесь уместно вспомнить идеи Ф.А. фон Хаека, для которого рынок является своеобразной лабораторией по экспериментированию с природой человека.

В результате рыночной ориентации меняется не только технология научной деятельности, но и ее коммуникативные практики в публичной сфере. Этот сдвиг можно обозначить как переход (по крайней мере, частичный) от стратегий научного просвещения (образования сознания) к стратегиям научного развлечения (entertainment) — преформирования *имажинативной виртуальной реальности*. Спровоцированное научными и околонаучными пиарными организациями *публичное шоу* на тему *клонирования человека*, несмотря на в значительной степени еще чисто гипотетическое значение, оказалось весьма успешной акцией в смысле *фондрайзинга* или *старинга* (раскрутки научных звезд). Например, еще недавно мало кому известные средней руки ученые Северино Антинори (Италия) и Панос Завос (США) стали знаменитостями в 2001 г. и сумели получить миллионные частные инвестиции в результате скандальных заявлений о готовности приступить к клонированию человеческих эмбрионов в репродуктивных целях, срежиссированных телевизионных дебатов и интервью в наиболее влиятельных средствах массовой информации.

Международные дискуссии по проблемам клонирования внесли свои коррективы в имажинативную самоидентичность человека. Клонирование было воспринято современным сообществом в напряженном парадоксе взаимопротивоположных экзистенциальных импульсов — как надежда на радикальное *спасение*, чуть ли не обеспечение практического бессмертия человека, и как фундаментальная угроза основополагающим культурным и религиозным ценностям, человеческой самоидентичности.

В этом шоу на основе невнятно ухваченного аспекта природной реальности возникла вполне осязаемая реальность мощного социального действия, воплотившаяся в бесчисленных декларациях, законах и регламентациях, изданных правительствами многих стран, национальными и международными общественными, научными и религиозными организациями. В мысленных *овечьих* экспериментах человечество *по-новому научилось во-ображать само себя* (самоидентифицировать в качестве «человека-могущего»), закрепив реальное присутствие этой имажинативной фикции в современном мире разрешительно-запретительными границами правопорядка.

Причем установление нормирующих границ моментально создало ресурс имажинативной трансгрессии, породило *золотую лихорадку* среди желающих первыми проникнуть в сферу запретного. Средства массовой информации запестрили сообщениями об организации клиник по клонированию человека в карликовых островных государствах и банановых республиках, где запреты цивилизованных стран не действуют.

Следует, однако, иметь в виду, что современные научные мифы возникают не просто вследствие невежества массового сознания. Они сознательно разыгрываются научным шоу-бизнесом в *анатомических театрах* нового типа и инсталлируются в сознание и бессознательное человека общества риска. Впрочем, точнее будет сказать, что имажинативная реальность сознания и бессознательного человека другого модерна формируется в отчаянной борьбе за признание и публичный успех (соответственно — финансовые ресурсы для научной деятельности), которую ведут в пространстве публичных дискурсов многочисленные научные и околонаучные «театральные коллективы» — каждый по-своему рассказывая экзистенциальные *угрозы* и предлагая пути *спасения*.

«Анатомический театр» биотехнологий

Аутопсия и публика. Формирование науки классического типа невозможно представить без длительной борьбы за общественное признание истинности научных свидетельств. Еще несколько столетий назад физики и химики, биологи и анатомы не только трудились в лабораториях, но и занимались публичными демонстрациями своих «опытов». Касаясь истории «Лондонского королевского общества», А.В. Ахутин отмечает: «Первый принцип, которым руководились сотрудники Общества, — принцип "аутопсии": увидеть собственными глазами, убедиться на опыте. Искусство эксперимента не только в изобразительности и наблюдательности, это умение продемонстрировать новое явление на глазах у публики»[18]. Маятник, висевший в Исаакиевском соборе, был такого рода демонстрацией истины науки, ее превосходства над религией.

Необходимо было захватить экзистенциальный настрой человека, обучить его распознанию новых символов своего и чужого, привлечь к соучастию в нового типа ритуалах инициации. Без демонстраций наука никогда бы не стала «сословием всеобщего» (так, как она стала в эпоху Просвещения), задающим базисную экзистенциальную ориентацию и производящим идентичность человека в качестве субъекта и объекта и в сегодняшнем мире. Именно о временах борьбы биомедицины за публичное признание напоминает еще кое-где встречающееся название — «анатомический театр». Вскрытия не только производились анатомами в своих «научных лабораториях», но и публично демонстрировались. На фронтисписе труда Везалия «О строении человеческого тела» Стефан ван Калькар изобразил публичное вскрытие, зрителями которого были Мартин Лютер, Тициан, Коломбо, Меланхтон и много других представителей творческой и политической элиты того времени[19].

---

[18] *Ахутин А.В.* Понятие «Природа» в античности и Новое время («фюзис» и «натура»). М.: Наука, 1988. С. 100.

[19] См.: *Гончаров Н.И.* Зримые фрагменты истории (литературно-анатомическое наследие XVI—XVIII вв.). Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд-во, 1988.

В эпоху Просвещения забота о захвате внимания публики преобразовалась в программы ее образования, в которых человек образовывался из «глины» природного материала по образу и подобию «Ученого». Доминантой обучения стало усвоение знаний различных наук. Власть авторитарно предрешала выбор доминирующего экзистенциального настроения, признавая научное сообщество единственным сословием всеобщего — хранителем «камертонов истины», по которым расстроенность повседневной жизни должным образом настраивается.

В современную эпоху другого модерна, как уже отмечалось, возникает глубинный кризис самой идеи сословия всеобщего. Формируются децентрированные социальные институты. Вопрос о признании права на свидетельство от имени истины и правоты самих свидетельств вновь становится предметом публичного обсуждения — многообразных публичных дискуссий, пиаровских акций, конференций, телевизионных шоу и т. п. Все это многообразие публичных форм конкуренции экспертных дискурсов можно условно назвать «анатомическим театром» эпохи биотехнологий. Если вспомнить, что театр древности был не только «представлением», но и их (представлений) состязанием, в котором раздаются дары победы и поражения, признания или отказа в нем, то метафора будет выглядеть достаточно адекватной.

Зритель как судья. «Анатомический театр» эпохи биотехнологий (театр аутопсии) является местом встречи конкурирующих за признание экспертных дискурсов, пространством экзистенциального суда, на котором судьбоносные суждения, определяющие ответы на вопрос о существовании, сущности и числе людей, выносит публика. Каким образом «глас народа» (публики) оказывается «гласом бога» (жизни), суждением био-власти? Для подхода к ответу на этот вопрос прежде всего резонно обратить внимание на кантовскую «способность суждения».

Суждение находится, по Канту, в особой позиции «между» рассудком и разумом, разумом теоретическим и разумом практическим, созерцанием и долженствованием, природой и свободой. Будучи одной из человеческих способностей, суждение имеет сугубую особенность — у него нет собственной предметной сферы, т. е. своего «всеобщего» — «законов». Ни законов «неба», как для теоретической способности, ни законов поступка (моральных максим), как для практического.

Располагаясь «между» другими способностями и не обладая собственным внутренним содержанием, способность суждения оказывается связующим звеном между ними, неким универсальным посредником. Как пишет В.С. Библер: «Способность суждения — своеобразный Харон в мышлении Нового времени. Этот перевозчик постоянно движется между берегами желания и познания, рассудка и воображения, теоретического разума и разума практического, связывая эти берега воедино, но связывая их роковым образом (если выразиться каламбурно, — роковым "образом культуры")»[20].

Отмечу парадоксальную особенность ситуации, в которой работает этот Харон. У реки жизни, через которую он перевозит души, — оба берега — «Аид». И путь туда, и путь обратно — оба в равной степени обоснованно именуются «умерщвлением» (ритуальным «бытием-к-смерти» как «бытием-к-истине»). Желание умерщвляется в рассудке, рассудок умерщвляется в желании. Они оба живы лишь «между» берегами. «Если все другие персонажи кантовского мира быстро превращаются в деперсонализированные "аргументы" и "функции" (в сфере рассудка), или "нормы" и "санкции" (в сфере нравственности), то наш Харон — единственный — должен(!) быть живым, индивидуальным воплощением личного начала»[21].

Бытие как «жизнь» индивида и личности означает постоянную выдвинутость на грань со смертью. Оно складывается из моментов умерщвления, переноса, спутывания тех порядков, которые открываются другим способностям разума: «Мы помним, что способность

---

[20] *Библер В.С.* Век Просвещения и критика способности суждения. Дидро и Кант. М.: Русское феноменологическое общество, 1997. С. 24.

[21] Там же. С. 24.

суждения всегда — в этом ее миссия — путает карты. Она придает серьезным сферам природы и свободы некий метафорический, переносный смысл. И — тем самым — судя о предметах природы как о предметах искусства, и судя о предметах искусства как о предметах природы, индивид приобретает пусть узкую, но действительную, а не иллюзорную самостоятельность, возможность определять предметы и поступки не по их собственным законам, но — метафорически! И — в этом смысле — свободно»[22]. В этой свободе человек пуст. Чистое «ничто» («прореха на человечестве»). В нем самом по себе нет предметности, которая появляется или проявляется лишь в результате «умерщвления» в опытах анатомической или моральной аутопсии. Вместе с тем именно эта «пустотность» открывает место для многообразных контингентных вариантов сосредоточивания человека «в себе», осуществляющегося, как отмечалось выше, в драматических представлениях «анатомического театра» эпохи биотехнологий.

Удержать внятно опыт «суждения» чрезвычайно сложно. В любом случае ни вопрос о его смысле, ни вопрос о его ценности вполне не подходят, поскольку оставляют в стороне специфику профанного суждения. Если в экспертных дискурсах нормы так или иначе рационально обосновываются и через подобное обоснование утверждаются как истинные или отрицаются как ложные, то в профанном дискурсе они присутствуют без оснований как непосредственно данные эстетические и риторические конструкты. Вместе с тем они не случайны. С ними нельзя обходиться произвольно. Работа научного или морального обоснования, совершающаяся в рамках профессиональных дискурсов аутопсии, постоянно предполагается, хотя, в силу действия «принципа публичности», в явном виде и не выражается. Суждение, обладающее промежуточным статусом между случайным мнением и обоснованным утверждением, Поль Рикер назвал «свидетельством» (attestation)[23].

---

[22] Цит. соч. С. 25.

[23] См.: *Ricoeur P.* Oneself as anothe. P. 21.

Итак, конфликт свидетельств не может решаться указанием на более истинное научное или более этически верное основание. Все решает их большая или меньшая «убедительность» для выносящей суждение публики. В американской традиции, которая доминирует в современной биоэтике, «убедительность», как правило, ассоциируется с «прагматической» и «утилитарной» приемлемостью. Иными словами, свидетельства, данные с различных «точек зрения», могут отбираться и координироваться между собой на основе их практической полезности. Именно к практичности, как «безосновному основанию», апеллируют некоторые американские теоретики биоэтики, пытаясь понять особую рациональность публичного обсуждения и принятия решения по сложнейшим проблемам биомедицины.

Однако что значит оценить свидетельство эксперта «прагматично»? Это значит проиграть жизненную ситуацию в многообразии вариантов с учетом признания, непризнания или признания с ограничениями тех или иных экспертных свидетельств. Например, ответить на вопрос — какова может быть жизнь российского пациента в случае, если будет легализована эвтаназия, и каковы те специфические ее черты, которые сегодня определены ее запретом? Убеждая, эксперт набрасывает свою траекторию жизненных событий, которая, по его мнению, приводит или не приводит к каким бы то ни было последствиям. Профан, слушая и оценивая, не в силах проверить основания, из которых исходит эксперт, но он вполне может вообразить варианты сюжета развития жизненных ситуаций в случае признания или непризнания свидетельства эксперта. Эти сюжеты всегда можно обсудить с другими, проиграть в воображении новые варианты, основанные на свидетельствах других экспертов.

Что определяет выбор между конкурирующими жизненными проектами? Утилитаристы отмечают значимость баланса возможных позитивных и негативных последствий, удовольствий и неприятностей. Деонтологи обращают внимание на законосообразность (моральную упорядоченность) свиваемой цепочки жизненных событий, традиционалисты — на ее соответствие или несоответствие некоторым эталонным повествованиям данной этнической, религиозной или политической общности. Мне бы хотелось подчеркнуть, не отрицая правомочности вышеназванных оценок, сугубую важность и императивность самой стихии игры жизни, ее ритмов, символов и ритуалов.

Игра, разыгрываемая экспертным свидетельством в «анатомическом театре» биотехнологий, прежде всего захватывает или не захватывает судящую «публику» своим экзистенциальным настроением. В результате образуется или не образуется между «актером» и «зрителем» лежащая в основе любой коммуникации «общность по настроению». На этой стадии отбор экспертных свидетельств, происходящий в среде публичного дискурса, можно представить как резонанс между настроением ожидания, которым охвачен зритель (или группа зрителей) на пороге игры, и настроением актерского (экспертного) исполнения (свидетельствования). Свидетельство, не попавшее в резонанс с настроем слушательских экспектаций, — отсеивается как не прошедшее отбор в борьбе за существование, даже если оно и было достаточно убедительным с точки зрения использованной рациональной аргументации. Трудности экологического и биоэтического движений в России парадоксальным образом сочетаются с практическим отсутствием оппонирующих аргументаций. Все согласны с рациональными доводами о необходимости защиты природы и прав пациентов. При этом большинство граждан, промышленников и политиков в реальной жизни поступают так, как если бы все это их не касалось. Не они дышат отравленным воздухом, не их права нарушаются на каждом шагу в медицинских центрах. В жизни доминирует технократический настрой предшествующей эпохи.

Аналогичным образом основанием отбора может быть совпадение или несовпадение символических рядов экспертного суждения и профанного сообщества. Например, в дискуссиях о правомочности принудительного аборта по медицинским показаниям в России широкой поддержкой у публики пользуются свидетельства экспертов, требующих проведения этого мероприятия при диагностике у плода генов таких «болезней», как «гомосексуализм». На Западе гомосексуализм уже перешел в коллективном воображении публики из класса «извращений» в класс «особенностей стиля жизни», т. е. потерял способность символизировать экзистенциальную угрозу. Поэтому желающих абортировать плоды с геномом гомосексуализма там значительно меньше.

Ритуал также может стать «безосновным основанием» выноса публикой того или иного вердикта. К примеру, одной из трудностей, с которыми сталкивается развитие биоэтики в нашей стране, является традиционное отсутствие серьезного интереса к опытам «моральной аутопсии». Ни в царской России, ни в СССР моральная философия интересом не пользовалась, а следовательно, отсутствовал опыт рационального анализа и обсуждения жизненных ситуаций. Поэтому, когда врач или профан (например, журналист) нуждается в публичной аргументации своей позиции, он чисто ритуально ссылается либо на Гиппократа, хотя большая часть вообще не знает, о чем в клятве идет речь, либо на Библию, опять же будучи весьма далеким от любой формы христианской жизни. Ритуалы рациональной моральной аргументации, к примеру, с использованием доктрины прав человека, в наших публичных дискуссиях практически отсутствуют — исторически еще не сформированы.

В заключение следует подчеркнуть: поскольку способность суждения не имеет своего «всеобщего», своего собственного «закона», то все выше обсужденные факторы способны сделать внятными и понятными лишь уже состоявшиеся суждения. В суждении, как оно происходит, правит чистая игра жизни — био-власть.

Таким образом, безосновным основанием *сетевой структуры самоидентичности* человека, генерируемой биотехнологиями в эпоху другого модерна, является *публичный суд истории*, в котором происходит стихийный отбор различных практик самоидентификации. В результате возникающие самоидентичности приобретают нестабильный контингентный сетевой характер. *Можно высказать предположение, что проблематизация самоидентичности не является проявлением ее кризиса. Суждения о кризисе возникают вследствие того, что к новой исторической ситуации прилагаются старые критерии рациональности, научности и т. д. Вероятнее всего, мы уже имеем новый расширенный тип научной рациональности, в котором, за счет подключения к науке дискурсов публичной сферы, удается удержать парадоксальную игру экзистенциальных настроений и эффектов порядка, постоянной изменчивости окружающего нас мира и его прочной стабильности.*

ПРИЛОЖЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ В ЛОГИКУ И ЕЕ ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Термин «логика» происходит от греческого слова logos, что значит «мысль», «слово», «разум», «закономерность», и используется в четырех смыслах:

1) специфические закономерности правильного мышления;

2) наука, изучающая закономерности структуры и развития правильного мышления;

3) закономерности развития объективно существующих вещей и явлений — «логика вещей»;

4) определенная последовательность действий человека.

В данной работе термин «логика» будет употребляться в первом и во втором из указанных выше смыслов. В работе будут изложены основы логики, а также ее философские проблемы. Из всего многообразия этих проблем мы сосредоточим свое внимание на следующих: предмет логики, логика и язык, основные логические формы мышления, законы (принципы) правильного мышления, единство и многообразие современных логических систем.

Глава 1

ПРЕДМЕТ ЛОГИКИ. ЛОГИКА И ЯЗЫК

Предмет логики

Логика — философская наука о законах и формах правильного мышления. Логика как наука зародилась в связи с риторикой (учением о красноречии) в Древней Греции и Древней Индии. Там были очень популярны состязания ораторов при большом стечении зрителей. В наше время споры (диспуты, дискуссии) по своему содержанию во много раз острее. На Международном форуме (Москва, 1987 г.) под девизом «За безъядерный мир. За выживание человечества» речь шла не о каких-то частных вопросах, а о проблеме, волнующей все человечество, — о его выживании, о сохранении цивилизации.

Значение логики трудно переоценить. Логика помогает доказывать истинные суждения и опровергать ложные, она учит мыслить четко, лаконично, правильно. Логика нужна всем людям, работникам самых различных профессий. Но в первую очередь — ученым, так как наука имеет дело с доказанным знанием. Юристы также строят свои обвинения или защиту в соответствии с правилами логики. Наконец, значительная часть обработки информации в компьютерных системах также осуществляется на основе законов логики.

Правда, разные авторы дают различные определения предмета логики, акцентируя тот или иной ее аспект. Например, О.К. Карпинская. О.В. Ляшенко, В.С. Меськов, Я.В. Шрамко пишут:

«В отечественных учебниках по логике принято определять логику как науку о законах и правилах мышления.

Однако имеется и определение логики как науки, правила которой являются правилами оперирования с логическими знаками. Под логикой понимается и применение формального метода математики к области традиционной логики.

По традиции, восходящей к И. Канту, логика определяется как наука о рассуждениях...»[1]

Эти же авторы пишут: «Разбирая различные точки зрения на предмет логики, можно прийти к следующим выводам.

По самой этимологии слова "логика", которое было заимствовано из греческого языка, логику можно понимать как науку о мышлении, задачей которой является исследование законов правильного мышления. При таком определении нет сомнения в том, что логика есть философская наука, ибо исследование процессов мышления всегда было одной из задач философии. Такое толкование предмета логики можно оценить как традиционное и верное для начального этапа развития этой науки»[2]. Но мышление изучает психология, физиология ВНД и т. п. За наукой логики остался рассужденческий аспект мышления. Поэтому авторы предлагают такое определение логики. «Предметом науки логики являются рассуждения, а сама она есть наука о рассуждениях. Задачей логики как науки является установление законов и правил, которым подчиняются рассуждения»[3].

А.А. Ивин так пишет о предмете и значении логики в своем учебном пособии: «Эта книга посвящена логике — науке о принципах правильного мышления.

Всегда было принято считать, что знание логики обязательно для образованного человека. Сейчас, в условиях коренного изменения характера человече-

---

[1] *Карпинская О.К., Ляшенко О.В., Меськов В.С., Шрамко Я.В.* Экспресс-логика: Учебное пособие. М., 1997. С. 25.

[2] Там же. С. 26.

[3] Там же.

ского труда, ценность такого знания возрастает. Свидетельство тому — растущее значение компьютерной грамотности, одной из теоретических основ которой является логика»[4]. Б.Л. Яшин, говоря о предмете формальной логики, дает ей такое определение: «Формальная логика — это наука, которая изучает формы, закономерности и операции правильного мышления»[5].

Многие авторы делают акцент на языковой реальности мышления как предмета логики: «Логика (от греч. logos — слово, понятие, рассуждение, разум) — в наиболее широком понимании ее предмета — исследует структуру мышления, раскрывает лежащие в ее основе закономерности»[6]. Несомненно, что мышление человека находится в неразрывной связи с языком. Абстрактная человеческая мысль не могла бы реализоваться, если бы не было необходимого для нее средства выражения, т. е. языка. «Языковые выражения являются той реальностью, строение и способ употребления которой дает нам знание не только о содержании мыслей, но и об их формах, о законах мышления. Поэтому в исследовании языковых выражений и отношений между ними логика видит одну из основных своих задач»[7].

Приведем еще несколько определений предмета логики, взятых из учебников или монографий видных отечественных логиков и философов.

Д.П. Горский: «Логика есть наука, изучающая мысли человека со стороны их логической формы и формулирующая законы, правила, соблюдение которых является необходимым условием для достижения истины в процессе получения выводного знания»[8].

Авторы учебника «Логика» (для вузов) Е.К. Войшвилло и М.Г. Дегтярев в разделе «Логика как наука» дают такое определение: «Логика есть наука о формах, приемах и методах теоретического познания на ступени

[4] *Ивин А.А.* Логика. М., 1997. С. 3.

[5] *Яшин Б.Л.* Логика. М., 2004. С. 24.

[6] *Берков В.Ф., Яскевич Я.С., Павлюкевич В.И.* Логика. Минск, 1996. С. 6.

[7] Там же.

[8] *Горский Д.П.* Логика. М., 1954. С. 10.

абстрактного мышления, имеющих общенаучный характер, о законах, составляющих основу этих методов, а также о языке как средстве познания»[9]. Далее авторы разъясняют: «При таком подходе к логике как науке наряду с формальной логикой в ней выделяются, по крайней мере, такие разделы, как логическая семиотика (исследование языка как средства познания), а также методология (изучение общенаучных методов и приемов познания)»[10]. О роли логики в познании, в науке эти авторы пишут: «Каждая из конкретных наук имеет в качестве предмета исследования ту или иную область природы или общественной жизни, логика же изучает то, каким образом осуществляется мыслительно-познавательная деятельность в различных науках»[11].

Традиция считать логику важнейшей философской наукой по-прежнему разделяется многими.

Так, в учебнике под названием «Философия. Вводный курс», написанном американскими философами Р. Поупкином и А. Строллом, переведенном на русский язык, написано, что он «представляет собой вводный курс по философии, используемый в самых престижных учебных заведениях Запада, включая Оксфорд и Кембридж. Благодаря нетрадиционному, увлекательному и доступному изложению сложнейших аспектов философской науки, учебник выдержал более десятка переизданий»[12].

Характерно, что данный учебник по философии включает следующие разделы:

1. Этика. 2. Политическая философия. 3. Метафизика. 4. Философия религии. 5. Теория познания. 6. Логика. 7. Современная философия.

Как видим, логике в данном учебнике по философии отведено важное место среди других ее разделов.

Итак, предметом изучения логики являются формы и законы правильного мышления. Однако мышле-

---

[9] *Войшвилло Е.К., Дегтярев М.Г.* Логика. М., 1998. С. 19.

[10] Там же. С. 19—20.

[11] Там же. С. 20.

[12] *Поупкин Р., Стролл А.* Философия. Вводный курс. М.; СПб.: Университетская книга, 1997.

ние неразрывно связано с языком. Данность мышления в языке является действительно исходной и принципиальной проблемой для логики.

Логика и язык

Функции языка и речи. Виды речи

Основная функция языка и речи — *коммуникативная*: речь служит для сообщения и сохранения *информации*, как средство связи поколений.

Вторая функция, общая языку и речи, — *функция выражения мысли*. «Человек может выражать свои мысли, — отмечает М.Р. Львов, — не только вербально, но и рисунком, чертежом, формулами, моделями, музыкальными звуками, красками, жестами, однако универсальным средством оформления и материализации мысли служит язык. Этот вывод относится в первую очередь к отвлеченному, речевому мышлению (логическому)»[13]. В речи мысль становится доступной не только другим людям, но и более понятной тому, кто ее произносит.

Третья функция языка и речи — *познавательная*. Все человеческое знание прошлых веков и настоящего заключено в произведениях речи, в текстах: это книги, журналы, рукописи, звукозаписи докладов, спектаклей и пр.

Следующие две функции присущи *только речи*. Это функции выражения эмоций (*эмотивная*), потому-то и говорят о воздействии автора на читателя или слушателя, и *регулятивная* и *планирующая*: человек устно, письменно или мысленно проектирует свои действия, анализирует, критикует, оценивает свои поступки и поступки других людей.

Язык и речь не тождественны. М.Р. Львов указывает на характерные отличия языка от речи.

[13] Речь: Методические указания и материалы для студентов факультета педагогики и методики начального обучения / Сост. М.Р. Львов. М., 1984. С. 4.

1. Язык — это общая система, отвлеченная от конкретных ситуаций жизни. Речь же всегда конкретна.

2. Язык лишь создает возможности для целенаправленных действий людей. Речь всегда преднамеренна и направлена на достижение какой-либо цели.

3. Язык характеризуется обобщенностью и статичностью. Речь развертывается во времени и пространстве, подвижна, динамична.

4. Языку свойственны строгая система, стабильность и обязательность его единиц. Речь индивидуальна, произвольна.

5. Язык является средоточием коллективного опыта многих поколений целого народа. Речь отражает опыт индивидуума.

6. Различны и их структуры. Язык имеет уровневую организацию (морфологический, синтаксический и другие уровни). Речь же линейна; это последовательность слов, предложений и компонентов текста, связываемых по законам логики, синтаксиса, композиции.

7. Речи (как виду деятельности индивида) в отличие от языка присущи: свой темп, громкость, эмоциональная окрашенность, индивидуальная степень стройности и связанности, эстетические качества; речи свойственны также различные стили (научный, официально-деловой, разговорный, публицистический, художественный).

Виды речи (речевой деятельности): а) внутренняя (для себя) и внешняя (для других); б) устная и письменная; в) звуковая и незвуковая (например, у глухонемых).

Внутренняя речь — это обычно сжатое, свернутое оформление мысли без ее устного или письменного сообщения другим (например, воспоминание о прошедших событиях с помощью образов). В экстремальных ситуациях человеку, в доли секунды принимающему решение, от которого, возможно, зависит его жизнь, для полного языкового оформления мысли не хватает времени. В этом случае внутренняя речь выполняет регулятивную функцию. Внутренняя речь, свернутая и фрагментарная, понятная самому субъекту с полуслова, при рассказе может быть плохо оформлена и, следовательно, не понята другим человеком (или понята искаженно). Поэтому надо учиться четко выражать свои мысли во внешней речи.

Внешняя речь бывает в виде монолога или диалога (полилога). Наиболее важным при оформлении внешней речи является передача содержания мысли.

Важную роль при речевом общении играют и невербальные средства: жесты, мимика, умолчание, взгляды, указание на окружающие предметы, интонация, громкость речи и т. д.

В истории развития логики и языкознания неоднократно предпринимались попытки оторвать мышление от языка.

Функции естественного языка многочисленны и многогранны. Язык — средство повседневного общения людей, средство общения в научной и практической деятельности. Язык позволяет передавать накопленные знания, практические умения и жизненный опыт от одного поколения к другому, осуществлять процесс обучения и воспитания подрастающего поколения. Языку свойственны и такие функции: хранить информацию, быть средством познания, быть средством выражения эмоций.

Язык является знаковой информационной системой, продуктом духовной деятельности человека. Накопленная информация передается с помощью знаков (слов) языка. Как уже отмечалось, речь может быть устной или письменной, звуковой или незвуковой (как, например, у глухонемых), речью внешней (для других) или внутренней, речью, выраженной с помощью естественного или искусственного языка. С помощью научного языка, в основе которого лежит естественный язык, сформулированы положения философии, математики, информатики, физики, истории, географии, археологии, медицины (использующей наряду с «живыми» национальными языками и ныне «мертвый» латинский язык) и многих других наук. Язык — это не только средство общения, но и важнейшая составная часть культуры всякого народа.

На базе естественных языков возникли *искусственные языки науки*. К ним принадлежат языки математики, символической логики, химии, физики, а также алгоритмические языки программирования для ЭВМ, которые получили широкое применение в современных вычислительных машинах и системах. Языками программирования называются знаковые системы, применяемые для описания процессов решения задач на ЭВМ. В настоящее время усиливается тенденция разработки принципов «общения» человека с ЭВМ на естественном языке, чтобы можно было пользоваться компьютерами без посредников-программистов.

Знак — это материальный предмет (явление, событие), выступающий в качестве представителя некоторого другого предмета, свойства или отношения и используемый для приобретения, хранения, переработки и передачи сообщений (информации, знаний)[14].

Знаки подразделяются на *языковые* и *неязыковые*. К неязыковым знакам относятся знаки-копии (например, фотографии, отпечатки пальцев, репродукции и т. д.), знаки-признаки, или знаки-показатели (например, дым — признак огня, повышенная температура тела — признак болезни), знаки-сигналы (например, звонок — знак начала или окончания занятия), знаки-символы (например, дорожные знаки) и другие виды знаков. Существует особая наука — семиотика, которая является общей теорией знаков. Разновидностями знаков являются языковые знаки, использующиеся в вышеперечисленных функциях. Одна из важнейших функций языковых знаков состоит в обозначении ими предметов. Для обозначения предметов служат имена.

Имя — это слово или словосочетание, обозначающее какой-либо определенный предмет.

Предмет здесь понимается в весьма широком смысле: это вещи, свойства, отношения, процессы, явления и т. п. как природы, так и общественной жизни, психической деятельности людей, продукты их воображения и результаты абстрактного мышления. Итак, имя всегда есть имя некоторого предмета. Хотя предметы измен-

---

[14] См.: Философский энциклопедический словарь. М., 1983. С. 191.

чивы, текучи, в них сохраняется качественная определенность, которую и обозначает имя данного предмета.

Имена делятся на:

1) *простые* («молекула», «снегирь», «зоология») и *сложные*, или *описательные* («самый большой водопад в Канаде и США», «планета Солнечной системы»). В простом имени нет частей, имеющих самостоятельный смысл, в сложном они имеются;

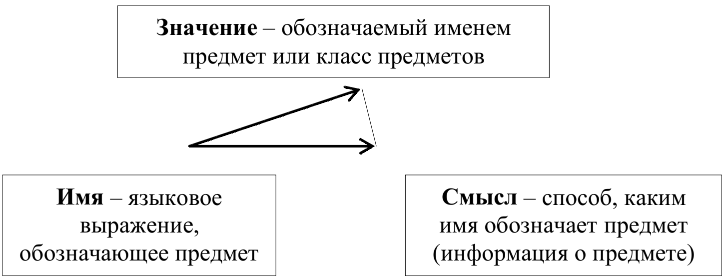
2) *собственные*, т. е. имена отдельных людей, предметов, событий («Пифагор», «А.Н. Колмогоров», «река Нева»), и общие — название класса однородных предметов (например, «персональный компьютер», «куб»).

Каждое имя имеет *значение* и *смысл*. *Значением имени* является обозначаемый им предмет. *Смысл* (или концепт) имени — это способ, каким имя обозначает предмет, т. е. информация о предмете, которая содержится в имени. Для иллюстрации мысли, что один и тот же предмет может иметь множество разных имен (синонимов), Готтлоб Фреге приводит такой пример. Знаковые выражения «4», «2 + 2», «9 − 5» являются именами одного и того же предмета — числа 4. Разные выражения, обозначающие один и тот же предмет, имеют одно и то же значение, но разный смысл (т. е. смысл имени «4», «2 + 2» и «9 − 5» различен).

Такие языковые выражения, как «английский логик, автор книг "Логическая игра", "Символическая логика", "История с узелками", "Математические курьезы"», «английский писатель Льюис Кэрролл», «создатель сказок "Алиса в Стране Чудес" и "Алиса в Зазеркалье"», имеют одно и то же значение (они обозначают Льюиса Кэрролла), но различный смысл, поскольку эти языковые выражения представляют Л. Кэрролла посредством различных его свойств, т. е. дают различную информацию о Кэрролле.

Такие языковые выражения, как «самое глубокое озеро мира», «пресноводное озеро в Восточной Сибири на высоте около 455 метров», «озеро, имеющее свыше 300 притоков и единственный исток — реку Ангару», «озеро, глубина которого 1620 метров», имеют одно и то же значение (озеро Байкал), но различный смысл, поскольку эти языковые выражения представляют озеро Байкал с помощью различных его свойств, т. е. дают различную информацию о Байкале.

Соотношение трех понятий: «имя», «значение», «смысл» — схематически можно изобразить таким образом.



Эта схема пригодна, если имя является не только собственным, т. е. приложимым к одному предмету, но и общим. Тогда вместо единичного предмета значением имени будет класс однородных предметов (например, класс озер или класс собак и т. д.), и схема останется в силе при данном уточнении.

В логике различают выражения, которые являются *именными функциями*, и выражения, являющиеся *пропозициональными функциями*. Примерами первых являются: «$x^2 + 1$», «отец у», «разность чисел z и 5»; примерами вторых являются «x — поэт», «$7 + y = 10$», «$x > y - 7$».

Рассмотрим эти два вида функций.

Именная функция — это выражение, которое при замене переменных постоянными превращается в обозначение предмета.

Возьмем именную функцию «отец y». Поставив вместо y имя «знаменитый математик Н.И. Лобачевский», получим «отец знаменитого математика Н.И. Лобачевского» — имя предмета (в данном случае — имя человека).

Именная функция — это такое выражение, которое не является непосредственно именем ни для какого предмета и нуждается в некотором восполнении для того, чтобы стать именем предмета. Так, выражение $x^2 - 1$ не обозначает никакого предмета, но если мы его «восполним», поставив, например, на место x имя числа 3 (обозначающее это число цифру), то получим выражение $3^2 - 1$, которое является уже именем для числа 8, т. е. для некоторого предмета. Аналогично выражение $x^2 + y^2$ не обозначает никакого предмета, но при подстановке на место x и у каких-нибудь имен чисел, например «4» и «1», превращается в имя числа 17. Такие нуждающиеся в восполнении выражения, как $x^2 - 1$, $x^2 + y^2$, и называют функциями — первая от одного, вторая от двух аргументов.

Пропозициональной функцией называется выражение, содержащее переменную и превращающееся в истинное или ложное высказывание при подстановке вместо переменной имени предмета из определенной предметной области.

Приведем примеры пропозициональных функций: «z — город»; «x — российский космонавт»; «y — четное число»; «$x + y = 10$»; «$x^3 - 1 = 124$».

Пропозициональные функции делятся на одноместные, содержащие одну переменную, называемые свойствами (например, «x — программист», «$x — 7 = 3$», «z — теорема»), и содержащие две и более переменных, называемые отношениями (например, «$x > y$»; «$x - z = 16$»; «объем куба x равен объему куба y»).

Возьмем в качестве примера пропозициональную функцию «x — нечетное число» и, подставив вместо x число 4, получим высказывание «4 — нечетное число», которое ложно, а подставив число 5, получим истинное высказывание «5 — нечетное число».

Разъясним это на конкретных примерах. Необходимо указать, какие из приведенных выражений являются именными функциями и какие пропозициональными; определить их местность, т. е. число входящих в выражение переменных, и получить из них имена или предложения, выражающие суждения (истинные или ложные):

а) «разность чисел 100 и x». Это — именная одноместная функция; например, $100 - 6$ есть имя предмета, имя числа 94;

б) «$x^2 + y$». Это — именная двухместная функция; при подстановке вместо x числа 5 и вместо у числа 7 превращается в имя предмета, имя числа 32;

в) «y — известный полководец». Это пропозициональная одноместная функция; при подстановке вместо y имени «Александр Васильевич Суворов, родившийся 24 ноября 1730 г.», получим истинное суждение: «Александр Васильевич Суворов, родившийся 24 ноября 1730 г., — известный полководец», выраженное в форме повествовательного предложения;

г) «z является композитором, написавшим оперы x и y». Это — пропозициональная трехместная функция. Она превращается в ложное суждение при подстановке вместо z имени «Бизе», вместо x — «Аида», а вместо y — «Травиата». Суждение «Бизе является композитором, написавшим оперы "Аида" и "Травиата"», выраженное в форме повествовательного предложения, является ложным, потому что обе эти оперы написал не Бизе, а Верди.

Понятие пропозициональной функции широко используется в математике. Все уравнения с одним неизвестным, которые школьники решают, начиная с первого класса, представляют собой одноместные пропозициональные функции, например, $x + 2 = 7$; $10 - x = 4$. Неравенства, содержащие одну или несколько переменных, также являются пропозициональными функциями. Например, $x < 7$ или $x^2 - y > 0$.

Семантические категории

Выражения (слова и словосочетания) естественного языка, имеющие какой-либо самостоятельный смысл, можно разбить на так называемые семантические категории, к которым относятся: 1) предложения: повествовательные, побудительные, вопросительные; 2) выражения, играющие определенную роль в составе предложений: дескриптивные и логические термины.

Суждения выражаются в форме повествовательных предложений (например: «информатика — наука», «трапеция — четырехугольник»). В этих суждениях субъектами соответственно являются «информатика» и «трапеция», а предикатами — «наука» и «четырехугольник».

К дескриптивным (описательным) терминам относятся:

1. *Имена предметов* — слова или словосочетания, обозначающие единичные (материальные или идеальные) предметы («Аристотель», «первый космонавт», «7») или классы однородных предметов (например, «пароход», «наука», «ЭВМ», «компьютерная программа», «алгоритм»).

В суждении «Енисей — река Сибири» встречаются три имени предмета: «Енисей», «река», «Сибирь». Имя предмета «Енисей» выполняет роль субъекта, а имена «река» и «Сибирь» входят в предикат («река Сибири») как его две составные части.

2. *Предикаторы* (знаки предметно-пропозициональных функций) — слова и словосочетания, обозначающие свойства предметов или отношения между предметами (например, «порядочный», «синий», «электропроводный», «есть город», «меньше», «есть число», «есть планета» и др.). Предикаторы бывают одноместные и многоместные. Одноместные предикаторы обозначают свойства (например, «талантливый», «горький», «большой»). Многоместные предикаторы обозначают (выражают) отношения. Двухместными предикаторами являются: «равен», «больше», «помнит» и др. Например: «Площадь земельного участка *A* равна площади земельного участка *B*». Пример трехместного предикатора — «между» (например: «Город Москва расположен между городами Санкт-Петербург и Ростов-на-Дону»).

3. *Функциональные знаки* (знаки именных функций) — выражения, обозначающие предметные функции, операции («$+$», «ctg a», «$\sqrt{}$» и др.).

Кроме того, в языке встречаются так называемые *логические термины* (логические постоянные, или логические константы).

В естественном языке имеются слова и словосочетания: «и», «или», «если... то», «эквивалентно», «равносильно», «не», «неверно, что», «всякий» («каждый», «все»), «некоторые», «кроме», «только», «тот..., который», «ни..., ни», «хотя..., но», «если и только если» и многие другие, выражающие логические константы (постоянные).

В символической (или математической) логике в качестве таких констант обычно используются конъюнкция, дизъюнкция, отрицание, импликация, эквиваленция, кванторы общности и существования и некоторые другие.

В символической (математической) логике логические термины (логические постоянные) записываются следующим образом:

$$-,\ \wedge,\ \vee,\ \dot{\vee},\ \equiv.$$

Конъюнкция соответствует союзу «и». Конъюнктивное высказывание обозначается: $a \wedge b$, или $a \bullet b$, или a & b; например, «Ученый закончил эксперимент (a) и сделал из него теоретические выводы (b)»[15].

Дизъюнкция соответствует союзу «или». Дизъюнктивное суждение обозначается: $a \vee b$ (нестрогая дизъюнкция) и $a \dot{\vee} b$(строгая дизъюнкция); отличие их в том, что при строгой дизъюнкции сложное суждение истинно только в том случае, когда истинно одно из составляющих суждений, но не оба, а при нестрогой дизъюнкции истинными могут быть одновременно оба суждения. «Он шахматист или футболист» обозначается как $a \vee b$. «Сейчас физик Петров находится дома или работает в лаборатории института» обозначается как a & b.

Импликация соответствует союзу «если... то». Условное суждение обозначается $a \rightarrow b$, или $a \supset b$ (например: «Если будет хорошая погода, то мы успешнее проведем археологические раскопки»).

Эквиваленция соответствует словам «если и только если», «тогда и только тогда, когда», «эквивалентно». Эквивалентное высказывание обозначается: $a \equiv b$, или $a \leftrightarrow b$, или $a \rightleftarrows b$.

Отрицание соответствует словам «не», «неверно, что». Отрицание высказывания обозначается $\overline{a}$, $\neg a$, $\backsim a$

[15] Здесь и в дальнейшем буквами *a, b, c* и т. д. обозначаются *переменные высказывания (суждения).*

(например: «Падает снег» (a); «Неверно, что падает снег» ($\overline{a}$)).

Квантор общности обозначается $\forall$ и соответствует кванторным словам «все» («всякий», «каждый», «ни один»). $\forall(x)P(x)$ — запись в математической логике. (Например, в суждении «*Все* красные мухоморы ядовиты» кванторное слово «все»).

Квантор существования обозначается $\exists$ и соответствует словам «некоторые», «существует». $\exists(x)P(x)$ — запись в математической логике. (Например, в суждениях «*Некоторые* ученые являются лауреатами Нобелевской премии» или «*Существуют* ученые, которые являются лауреатами Нобелевской премии» — кванторные слова выделены курсивом).

Выразим в форме схемы разновидности семантических категорий.

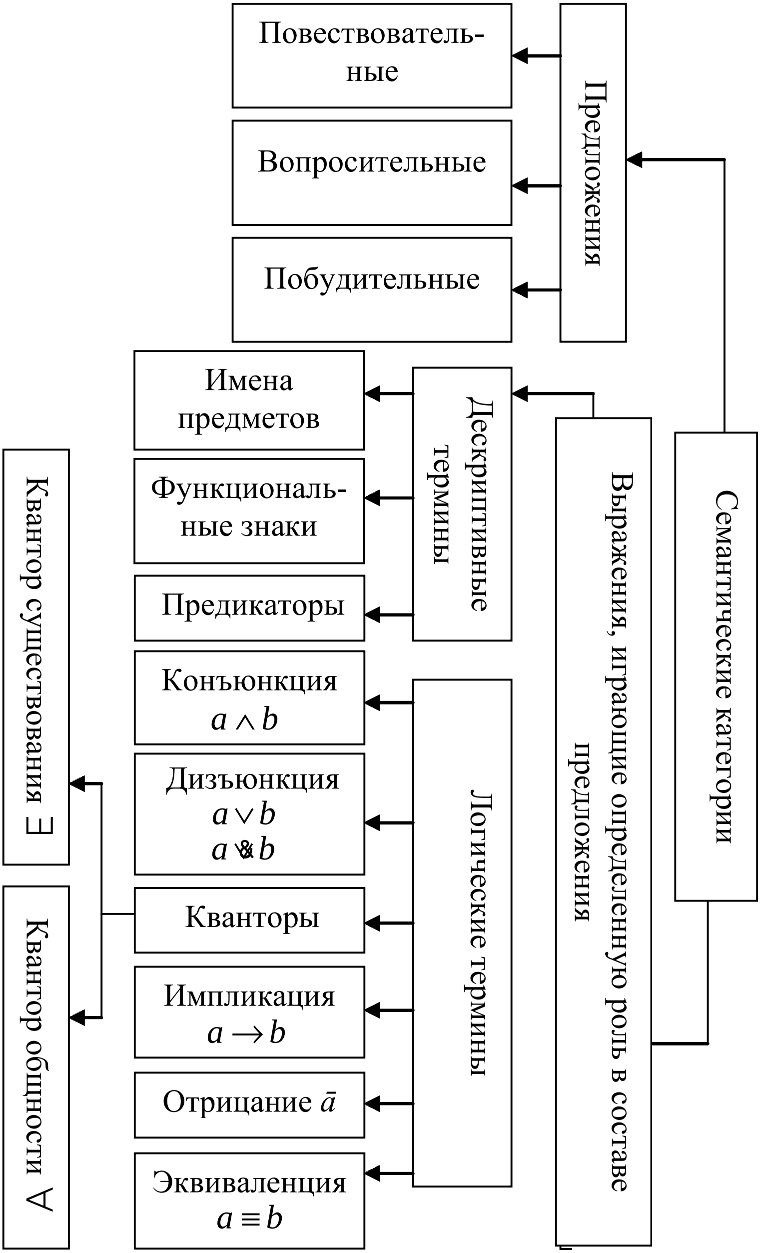
Приведем (проиллюстрируем) решения ряда задач.

1. *Определить дескриптивные и логические термины в суждении*: «Все организмы являются одноклеточными или многоклеточными». В этом суждении дескриптивными терминами являются: «организм», «многоклеточный организм», «одноклеточный организм», а логическими терминами: «все», «или».

2. *Определить, к каким семантическим категориям относятся следующие выражения*: а) листья, упавшие на землю (дескриптивный термин, имя предмета); б) листья упали на землю (повествовательное предложение); в) на всякое погруженное в жидкость тело действует выталкивающая сила (повествовательное предложение); г) вы пойдете сегодня в библиотеку? (вопросительное предложение); д) полководец России (дескриптивный термин, имя предмета).

Покажем, каким образом, используя семантические категории, можно *выявлять логическую структуру мыслей*. Ниже приводятся девять сложных суждений, структуру которых надо выразить в виде формул, используя введенные логические термины.

1. Если у меня будет свободное время (a) и я сдам экзамен по педагогике (b) и психологии (c), то я поеду отдыхать в Крым (d) или на Кавказ (e).


Семантические категории
Предложения
Повествовательные
Вопросительные
Побудительные
Выражения, играющие определенную роль в составе предложения
Дескриптивные термины
Имена предметов
Функциональные знаки
Предикаторы
Логические термины
Конъюнкция $a \wedge b$
Дизъюнкция $a \vee b$ $a \veebar b$
Кванторы
Импликация $a \to b$
Отрицание $\bar{a}$
Эквиваленция $a \equiv b$
Квантор существования $\exists$
Квантор общности $\forall$

Формула: $(a \wedge b \wedge c) \rightarrow (d \mathbin{\vee\!\!\!\!\&} e)$

Здесь буква a обозначает суждение: «У меня будет свободное время»; буква b — суждение: «Я сдам экзамен по педагогике»; буква c — суждение: «Я сдам экзамен по психологии»; буква d — «Я поеду отдыхать в Крым»; буква e — «Я поеду отдыхать на Кавказ».

2. «Если человек с детства и юности своей не давал нервам властвовать над собой, то они не привыкнут раздражаться и будут ему послушны» (*К.Д. Ушинский*).

Формула: $(\overline{a} \wedge \overline{b}) \rightarrow (\overline{c} \wedge d)$

Здесь буква a обозначает суждение: «Человек с детства давал нервам властвовать над собой». А так как у нас имеется отрицание («не давал»), то запишем $\overline{a}$.

3. «И добродетель стать пороком может, когда ее неправильно приложат» (*Т. Шекспир*).

Чтобы выявить структуру этого суждения, следует привести его к четкой логической форме: «Если добродетель неправильно приложат (a), то она может стать пороком (b)».

Формула: $a \rightarrow b$

4. «Если ребенок вырастил розу для того, чтобы любоваться ее красотой, если единственным вознаграждением за труд стало наслаждение красотой и творение этой красоты для счастья и радости другого человека, — он не способен на зло, подлость, цинизм, бессердечность» (*В.А. Сухомлинский*).

Формула: $(a \wedge (b \wedge c \wedge d)) \rightarrow (\overline{e} \wedge \overline{f} \wedge \overline{m} \wedge \overline{n})$.

Приведем формулы сложных суждений, построенных на материале математики или информатики.

5. «Если эта фигура — ромб (a), то его диагонали взаимно перпендикулярны (b) и в точке пересечения делятся пополам (c)».

Формула: $a \rightarrow (b \wedge c)$

6. «Если последняя цифра делится на 2 (a), то и само число делится на 2 (b)».

Формула: $a \to b$

7. «Если числа имеют одинаковые знаки, то и их произведения, и их частное имеет знак «+».

Формула: $a \to (b \wedge c)$

Здесь буква «*b*» обозначает суждение: «Произведение чисел с одинаковыми знаками имеет знак "+"».

8. «Если эта фигура параллелограмм (a), то его противоположные стороны равны (b), его противоположные углы равны (c), и его диагонали, пересекаясь, делятся пополам (d)».

Формула: $a \to (b \wedge c \wedge d)$

9. «Сочинять алгоритмы может только человек, а исполняют их всевозможные машины, например, компьютер, робот, станок, спутник и даже некоторые механические игрушки» (*В. Параджанов*. Занимательная информатика).

Формула: $a \wedge (b \equiv (c \wedge d \wedge e \wedge f \wedge g))$.

Здесь буква *b* обозначает суждение: «Алгоритмы исполняют всевозможные машины», буква *c* обозначает суждение: «Алгоритмы исполняют компьютеры» и т. д.

10. «Разработать программу решения задачи — значит выполнить следующие действия:

1. Распределить память машины.
2. Написать программу.
3. Отладить программу» (Ю.М. Родионова. Программирование).

Формула такая: $a \to (b \equiv (c \wedge d \wedge e))$

11. «**Документированная информация** имеет юридическую силу и может служить для фиксации самых различных событий и взаимоотношений между людьми» (В.А. Каймин. Информатика).

Формула: $a \wedge b \wedge c$

Здесь буква *b* обозначает простое модальное суждение: «Документальная информация может служить для фиксации самых различных событий».

Из определения логики как науки о формах и законах правильного мышления вытекает, что существенными философскими проблемами логики являются анализ и разработка таких ее категорий, как «логическая форма мышления» и «логический закон мышления». Начнем с анализа категории «логическая форма мышления».

Глава 2

ОСНОВНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМЫ МЫШЛЕНИЯ

Среди логических форм мышления обычно выделяют три основных: понятие, суждение, умозаключение.

Понятие

Свойства отдельных предметов или явлений люди отражают с помощью форм эмпирического познания — ощущений, восприятий, представлений. Например, в конкретной, единичной дыне мы *ощущаем* ее свойства — продолговатая, гладкая, сладкая, ароматная. Совокупность этих и других свойств дает нам восприятие (конкретный образ единичного предмета) данной дыни, при этом мы отражаем как ее существенные свойства, так и несущественные. Восприятие есть целостное отражение внешнего материального предмета, непосредственно воздействующего на органы чувств. В понятии же отражаются **существенные** признаки предметов. Что является признаком?

Признаки — это то, в чем предметы сходны друг с другом или отличны друг от друга. Признаками являются свойства и отношения. Предметы могут быть тождественными по своим свойствам (например, сахар и мед сладкие), но могут и отличаться ими (мед сладкий, а полынь горькая).

Признаки бывают *существенные* и *несущественные*. В понятии отражается совокупность существенных признаков, т. е. таких, каждый из которых, взятый отдельно, необходим, а все, вместе взятые, достаточны, чтобы с их помощью можно было отличить (выделить) данный предмет от всех остальных и обобщить однородные предметы в класс.

Понятие — это форма мышления, в которой отражаются существенные признаки одноэлементного класса или касса однородных предметов.

Например, «Пифагор», «Эвклид», «М.В. Ломоносов», «выдающийся русский математик Софья Ковалевская», «компьютерная сеть Интернет» — единичные понятия, а «четное число», «квадратное уравнение», «равносторонний треугольник», «математический факультет», «теорема», «равносильный алгоритм», «циклический алгоритм» — общие понятия.

В.И. Кириллов, Г.А. Орлов, Н.И. Фокина дают такое определение: «Понятие — форма мышления, отражающая предметы в их существенных признаках»[16].

Е.К. Войшвилло и М.Г. Дегтярев дают такое определение понятию как форме мышления: «Понятие как форма (вид) мысли, или как мысленное образование, есть результат обобщения предметов некоторого вида и мысленного выделения соответствующего класса (множества) по определенной совокупности общих для предметов этого класса — и в совокупности отличительных для них — признаков»[17].

Для выделения существенных признаков необходимо абстрагироваться (отвлечься) от несущественных, которых в любом предмете очень много. Этому помогает сравнение, сопоставление предметов. Для выделения ряда признаков требуется произвести анализ, т. е. мысленно расчленить целый предмет на его составные части, элементы, стороны, отдельные признаки. Обратная операция — синтез (мысленное объединение) частей предмета, отдельных признаков, притом признаков существенных, в единое целое. Мысленному анализу как приему, используемому при образовании понятий, часто предшествует анализ практический, т. е. разложение, расчленение предмета на его составные части. Мысленному синтезу предшествует практический сбор частей предмета в единое целое с учетом правильного взаимного расположения частей при сборке.

[16] *Кириллов В.И., Орлов Г.А., Фокина Н.И.* Упражнения по логике: Учебное пособие. М., 2005. С. 4.

[17] *Войшвилло Е.К., Дегтярев М.Г.* Логика. М., 1998. С. 182.

Анализ — мысленное расчленение предметов на их составные части, мысленное выделение в них признаков.

Синтез — мысленное соединение в единое целое частей предмета или его признаков, полученных в процессе анализа.

Сравнение — мысленное установление сходства или различия предметов по существенным или несущественным признакам.

Абстрагирование — мысленное выделение одних признаков предмета и отвлечение от других. Часто задача состоит в выделении существенных признаков и в отвлечении от несущественных, второстепенных.

Обобщение — мысленное объединение однородных предметов в некоторый класс.

Перечисленные выше логические приемы используются при формировании понятий как в научной деятельности, так и при овладении знаниями в процессе обучения (в школе, вузе и других учебных заведениях).

Содержание и объем понятия. Омонимы и синонимы

Всякое понятие имеет содержание и объем.

Содержанием понятия называется совокупность существенных признаков одноэлементного класса или класса однородных предметов, отраженных в этом понятии.

Содержанием понятия «квадрат» является совокупность двух существенных признаков: «быть прямоугольником» и «иметь равные стороны».

Объемом понятия называют совокупность (класс) предметов, которая мыслится в понятии.

Объективно, т. е. вне сознания человека, существуют различные предметы, например студенты. Под объемом понятия «студент» подразумевается множество всех студентов, которые существуют сейчас, существовали ранее и будут существовать в будущем. Класс (или множество) состоит из отдельных субъектов, которые называются его элементами. В зависимости от их числа множества делятся на *конечные* и *бесконечные*. Например, множество столиц государств конечно, а множество натуральных чисел бесконечно. Множество (класс) *A* называется подмножеством (подклассом) множества (класса) *B*, если каждый элемент *A* является элементом *B*. Такое отношение между подмножеством *A* и множеством В называется отношением включения класса *A* в класс *B* и записывается так: $A \subset B$. Читается: класс *A* входит в класс *B*. Это отношение вида и рода (например, класс «медь» входит в класс «металл»).

Отношение принадлежности элемента *a* классу *A* записывается так: $a \in A$. Читается: элемент *a* принадлежит классу *A*. Например, *a* — «Нева» и *A* — «река».

Классы *A* и *B* являются тождественными (совпадающими), если $A \subset B$ и $B \subset A$, что записывается как $A \equiv B$.

В законе обратного отношения между объемами и содержаниями понятий речь идет о понятиях, находящихся в родовидовых отношениях. Объем одного понятия может входить в объем другого понятия и составлять при этом лишь его часть. Например, объем понятия «четное число» целиком входит в объем другого, более широкого по объему понятия «число» (составляет часть объема понятия «число»). При этом содержание первого понятия оказывается шире, богаче (содержит больше признаков), чем содержание второго. На основе обобщения такого рода примеров можно сформулировать следующий закон: *чем шире объем понятия, тем у́же его содержание, и наоборот*. Этот закон называется законом обратного отношения между объемами и содержаниями понятий. Он указывает на то, что чем меньше информация о предметах, заключенная в понятии, тем шире класс предметов и неопределеннее его состав (например, «лодка»), и наоборот, чем больше информация в понятии (например, «подводная лодка» или «атомная подводная лодка»), тем у́же и определеннее круг предметов.

В языке понятия выражаются посредством слов или словосочетаний (групп слов). Например, «угол», «многогранник», «добросовестный человек», «полезное человеку растение». *Существуют слова-омонимы*, имеющие различное значение, выражающие различные понятия, но одинаково звучащие (например, слово «коса» в смысле девичья коса, или как орудие труда, или как песчаная отмель). В суждении «Миру — мир!» — два значения у слова «мир». Для слова «очки» много значений. Учащиеся десятого класса, изучающие логику, для слова «сеть» приводили 50, 60, 70 и более значений (некоторые из них нашли до сотни значений). Например: рыболовная сеть, телефонная сеть, компьютерная сеть, паучья сеть, электрическая сеть, агентурная сеть, сеть связи, волейбольная сеть, электронная сеть, транспортная сеть, информационная сеть, высоковольтная сеть, водопроводная сеть, газопроводная сеть, банковская сеть, торговая сеть, сеть мостов через Москву-реку и многие другие. Это — различные понятия, включающие одно и то же слово «сеть».

Существуют слова-синонимы, имеющие одинаковое значение, т. е. выражающие одно и то же понятие, но различно звучащие (например, око — глаз, враг — недруг, хворь — болезнь и др.). Для понятия «*множество*» (в смысле много) синонимами являются: «масса», «тьма», «уйма», «бездна», «пропасть». Например: «Собралось *множество* людей; *много* цветов на лугу; *тьма-тьмущая* птиц в небе; *масса* муравьев...»; «Из комнаты пришлось вымести пропасть мусору и вытереть повсюду пыль» (*А.Н. Толстой*); «Народу сбежалось *бездна*, все кричали, все говорили» (*Л. Толстой*)[18]. В информатике понятия «линейный алгоритм» и «неразветвленный алгоритм» — синонимы.

Виды понятий

Общие и единичные понятия

Понятия можно классифицировать по объему и по содержанию. **По объему** понятия делятся на единичные, общие и пустые.

Объем *единичного* понятия составляет одноэлементный класс (например, «великий русский ученый И.П. Павлов», «математик Пифагор», «Сократ»).

[18] *Львов М.Р.* Словарик синонимов и антонимов. М., 1992.

Объем *общего* понятия включает число элементов, большее единицы (например, «государство», «тетраэдр», «положительное число» и др.).

Среди общих понятий особо выделяют понятия с объемом, равным универсальному классу, т. е. классу, в который входят все предметы, рассматриваемые в данной области знания или в пределах данных рассуждений (эти понятия называют универсальными). Например, натуральные числа — в арифметике; растения — в ботанике; конструктивные объекты — в конструктивной математике и др.

Кроме общих и единичных понятий по объему выделяют понятия *пустые* (*с нулевым объемом*), т. е. такие, объем которых представляет пустое множество (например, «вечный двигатель», «теплород», «человек, проживший 300 лет», «флогистон» и др.).

По содержанию можно выделить следующие четыре пары понятий.

Конкретные и абстрактные понятия

Конкретными называются понятия, в которых отражены одноэлементные или многоэлементные классы предметов (как материальные, так и идеальные). К их числу относятся понятия: «дом», «свидетель», «лемма», «выдающийся русский математик», «теорема Пифагора» и пр.

Абстрактными называются те понятия, в которых мыслится не целый предмет, а какой-либо из признаков предмета, взятый отдельно от самого предмета (например, «четность», «несправедливость», «честность»). В действительности существуют четные числа, несправедливые войны, честные люди, но «четность» и «несправедливость» как отдельные чувственно воспринимаемые вещи не существуют. Абстрактные понятия, кроме отдельных свойств предмета, отражают и отношения между предметами (например, «неравенство», «подобие», «тождество», «сходство» и др.).

Относительные и безотносительные понятия

Относительными называются понятия, в которых мыслятся предметы, существование одного из которых предполагает существование другого («дети» — «родители», «ученик» — «учитель», «начальник» — «подчиненный», «северный полюс магнита» — «южный полюс магнита»).

Безотносительными называются понятия, в которых мыслятся предметы, существующие самостоятельно, вне зависимости от другого предмета («человек», «вычислительная машина», «электронный учебник», «печатный станок», «многогранник»).

Положительные и отрицательные понятия

Положительные понятия характеризуют в предмете наличие того или иного качества или отношения. Например, грамотный человек, алчность, отстающий ученик, красивый поступок, эксплуататор и т. д.[19]

Если частица «не» или «без» («бес») слилась со словом и слово без них не употребляется (например, «ненастье», «»бесчинство», «беспечность», «безупречность», «ненависть», «неряха»), то понятия, выраженные такими словами, также называются положительными.

В русском языке нет понятий «упречность» или «настье», и частица «не» в приведенных примерах не выполняет функцию отрицания, а поэтому понятия «ненастье», «неряха» и другие являются положительными, так как они характеризуют наличие у предмета определенного качества (может быть, даже и плохого — «неряха», «беспечность»).

Отрицательными называются те понятия, которые означают, что указанное качество отсутствует в пред-

---

[19] В логике понятия «эксплуататор» или «алчность» являются положительными, так как указывают на присущность предмету (в данных случаях человеку) определенного признака — «быть эксплуататором», «быть алчным». Логическая характеристика понятия иногда не совпадает с оценками предметов, отраженными в понятии (например, с экономической, моральной или другими). Разумеется, эксплуататор или алчный человек вызывают не положительную, а резко отрицательную оценку. Понятие «стихийное бедствие» в логике квалифицируется как положительное, хотя в жизни стихийное бедствие рассматривается как отрицательное, нежелательное явление, приносящее людям много горя, разрушений, бед.

метах (например, «неграмотный человек», «некрасивый поступок», «ненормальный режим», «бескорыстная помощь»). Эти понятия в языке выражены словом или словосочетанием, содержащим отрицательную частицу «не» или «без» («бес»), присоединенную к соответствующему положительному понятию и выполняющую *функцию отрицания*.

Положительное (*A*) и отрицательное (не-*A*) являются противоречащими понятиями.

Собирательные и несобирательные понятия

Собирательными называются понятия, в которых группа однородных предметов мыслится как единое целое (например, «полк», «стадо», «стая», «созвездие», «множество»). Проверяем так. Например, об одном дереве мы не можем сказать, что это лес; один корабль не является флотом. Собирательные понятия бывают *общими* (например, «роща», «студенческий научный коллектив») и *единичными* («созвездие Большая Медведица», «Российская государственная библиотека», «экипаж космического корабля, впервые осуществивший совместный полет»).

Содержание ***несобирательного*** понятия можно отнести к каждому предмету данного класса, мыслимого в понятии («растение», «поверхность вращения», «вектор»). При этом будут возникать истинные суждения. Например, о каждом данном растении можно сказать, что оно является растением, и это утверждение является истинным.

В суждениях (высказываниях) общие и единичные понятия могут употребляться как в несобирательном (разделительном), так и в собирательном смысле. В суждении «Студенты этой группы успешно сдали экзамен по педагогике» понятие «студент этой группы» является общим и употребляется в разделительном (несобирательном) смысле, так как утверждение об успешной сдаче экзамена по педагогике относится к каждому студенту этой группы. В суждении «Студенты этой группы провели общее собрание» понятие «студенты этой группы» употреблено в собирательном смысле, так как студенты этой группы взяты как единый коллектив и это понятие является единичным, ибо данная совокупность студентов (именно этой группы) одна, другого такого коллектива нет.

Пример.

Дать логическую характеристику понятиям «коллектив», «недобросовестность», «теорема», «компьютер».

«*Коллектив*» — общее, конкретное, безотносительное, положительное, собирательное.

«*Недобросовестность*» — общее, абстрактное, безотносительное, отрицательное, несобирательное.

«Теорема» — общее, конкретное, безотносительное, положительное, несобирательное.

«Компьютер» — общее, конкретное безотносительное, положительное, несобирательное.

Отношения между понятиями

Совместимые понятия

Предметы мира находятся друг с другом во взаимосвязи и взаимообусловленности. Поэтому и понятия, отражающие предметы мира, также находятся в определенных отношениях. Далекие друг от друга по своему содержанию понятия, не имеющие общих признаков, называются *несравнимыми* (например, «безответственность» и «нитка»; «романс» и «кирпич»), остальные понятие называются *сравнимыми*.

Сравнимые понятия делятся по объему на *совместимые* (объемы этих понятий совпадают полностью или частично) и *несовместимые* (объемы которых не совпадают ни в одном элементе).

Типы совместимости: равнозначность (тождество), перекрещивание, подчинение (отношение рода и вида)

Отношения между понятиями изображают с помощью круговых схем (кругов Эйлера), где каждый круг обозначает объем понятия (см. рис. 6). Если понятие единичное, то оно также изображается кругом.

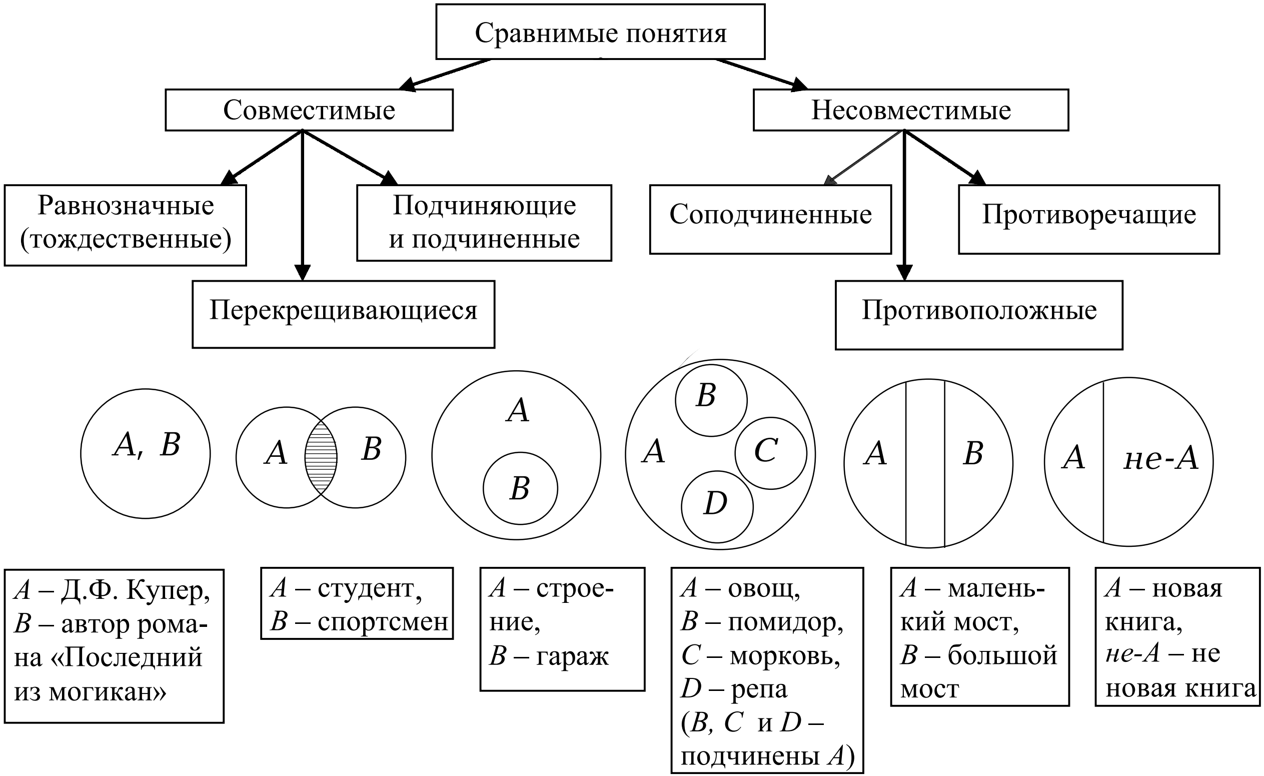
Равнозначными (или ***тождественными***) называются понятия, которые различаются по своему содержанию, но объемы которых совпадают, т. е. в них мыслится или одноэлементный класс, или один и тот же класс предметов, состоящий более чем из одного элемента. Примеры равнозначных понятий: 1)«река Волга»; «самая длинная река в Европе»; 2) «автор рассказа “Человек в футляре"»; «автор комедии “Вишневый сад"»; 3) «равносторонний прямоугольник»; «квадрат»; «равноугольный ромб». Объемы тождественных понятий изображаются кругами, полностью совпадающими; 4) «Д.Ф. Купер»; «автор романа “Последний из могикан"».

Понятия, объемы которых частично совпадают, т. е. содержат общие элементы, находятся в отношении перекрещивания. Примерами их являются следующие пары: «рабочий» и «орденоносец», «школьник» и «филателист», «спортсмен» и «студент», «мастер спорта» и «лыжник». Они изображаются пересекающимися кругами (см. рис. 6). В пересекающейся части двух кругов мыслятся студенты, являющиеся спортсменами, или (что одно и то же) спортсмены, являющиеся студентами, в левой части круга *А* мыслятся студенты, не являющиеся спортсменами. В правой части круга *В* мыслятся спортсмены, которые не являются студентами.

Отношение подчинения (*субординации*) характеризуется тем, что объем одного понятия целиком включается (входит) в объем другого понятия, но не исчерпывает его. Это отношение вида и рода: *А* — подчиняющее понятие («млекопитающее»), *В* — подчиненное понятие («кошка»); *А* — «строение», *В* — «гараж».

Несовместимые понятия. Типы несовместимости: соподчинение, противоположность, противоречие

Соподчинение (*координация*) — это отношение между объемами двух или нескольких понятий, исключающих друг друга, но принадлежащих некоторому, более общему родовому понятию (например, «ель», «береза», «сосна» принадлежат объему понятия «дерево»). Они изображаются отдельными неперекрещивающимися кругами внутри более обширного круга. Это виды одного и того же рода. Родовому понятию «овощ» принадлежат, например, видовые понятия «помидор», «морковь», «репа».


Сравнимые понятия
Совместимые
Несовместимые
Равнозначные (тождественные)
Перекрещивающиеся
Подчиняющие и подчиненные
Соподчиненные
Противоположные
Противоречащие
A, B
A
B
A
B
A
B
C
D
A
B
A
не-A
A – Д.Ф. Купер,
B – автор романа «Последний из могикан»
A – студент,
B – спортсмен
A – строение,
B – гараж
A – овощ,
B – помидор,
C – морковь,
D – репа
(B, C и D – подчинены A)
A – маленький мост,
B – большой мост
A – новая книга,
не-A – не новая книга

В отношении противоположности (*контрарности*) находятся объемы таких двух понятий, которые являются видами одного и того же рода, и притом одно из них содержит какие-то признаки, а другое эти признаки не только отрицает, но и заменяет их другими, исключающими (т. е. противоположными признаками). Слова, выражающие противоположные понятия, являются *антонимами*. Антонимы широко используются в обучении. Примеры противоположных понятий: «храбрость» — «трусость»; «белая краска» — «черная краска». Объемы последних двух понятий разделены объемом некоторого третьего понятия, куда, например, входит «зеленая краска». Другие примеры: «маленький мост» — «большой мост».

В отношении противоречия (*контрадикторности*) находятся такие два понятия, которые являются видами одного и того же рода, и при этом одно понятие указывает на некоторые признаки, а другое эти признаки отрицает, исключает, не заменяя их никакими другими признаками. Если одно понятие обозначить *А* (например, «высокий дом»), то другое понятие, находящееся с ним в отношении противоречия, следует обозначить *не-А* (т. е. «невысокий дом»). Круг Эйлера, выражающий объем таких понятий, делится на две части (*А* и *не-А*), и между ними не существует третьего понятия. Например, бумага может быть либо белой, либо небелой; человек бывает честным или нечестным; животное — млекопитающим или немлекопитающим; книга бывает новой или неновой. Понятие *А* является положительным, а понятие *не-А* — отрицательным.

Понятия *А* и *не-А* также являются антонимами.

Определение понятий. Реальные и номинальные определения в математике и информатике. Правила явного определения понятий

Это очень трудно — определить понятие. Древнегреческий философ Платон так определил, кто такой человек: «Человек — двуногое животное, не имеющее перьев». Пишут о том, что его ученик Диоген принес на лекцию Платона ощипанного петуха и выпустил его в аудитории с возгласом: «Вот человек Платона!» Платон признал свою ошибку и исправил определение так: «Человек — двуногое животное, не имеющее перьев, с широкими ногтями». Смех! Но и это определение неправильное.

Приводят такое определение: «Дикобраз — животное, спина и бока которого покрыты иглами». Но ведь и ежи имеют иглы. Как же их отличить?

Однажды лектор дал такое определение гравитации: «Гравитация — это взаимодействие двух материальных тел». Но тогда и драка двух хулиганов — это также взаимодействие двух материальных тел, т. е. дерущихся, будет подпадать под определение гравитации.

Определение (*дефиниция*) понятия — логическая операция раскрытия содержания понятия или значения термина (дефиниция, от лат. *definitio* — определение).

С помощью определения понятий мы в явной форме раскрываем содержание понятия и тем самым отличаем круг определяемых предметов от других предметов.

Примеры: «Информатика — наука, предметом которой являются процессы и системы получения, хранения, передачи, распространения, использования и преобразования информации» (1); «Правильной дробью называется обыкновенная дробь, числитель которой меньше знаменателя» (2).

Давая такие определения, мы отличаем науку информатику от других наук, а правильные дроби от всех других дробей, например неправильных или десятичных.

Приведем еще несколько определений понятий, которые принадлежат к двум различным видам определений (**реальным** и **номинальным**).

«Прямоугольник — это параллелограмм, у которого все углы прямые» (3); «Выражение, содержащее букву, которой обозначено неизвестное нам число, называется буквенным выражением» (4); «Сбор данных — накопление информации с целью обеспечения достаточной полноты для принятия решений» (5); «Вектором называется направленный отрезок» (6); «Равенство алгебраических выражений называют формулой» (7); «Вычисление значения степени называется возведением в степень» (8); «Максимальная скорость передачи информации по каналу связи называется пропускной способностью канала» (9).

Понятие, содержание которого надо раскрыть, называется определяемым понятием (*definiendum*, сокращенно *Dfd*), а то понятие, посредством которого оно определяется, называется определяющим понятием (*definience*, сокращенно *Dfn*). Правильное определение устанавливает между ними отношение равенства (эквивалентности).

Определения делятся на **явные и неявные**. В явных определениях даны определяемое понятие и определяющее, объемы которых равны, т. е. $Dfd \equiv Dfn$. К их числу относится самый распространенный способ определения — **через ближайший род и видовое отличие**, где формулируются **существенные признаки** определяемого понятия. Например: «Барометр — прибор для измерения атмосферного давления»; «Треугольник — многоугольник с тремя сторонами»; «Многогранником называется тело (часть пространства), ограниченное со всех сторон конечным числом плоскостей»; «Электронные магазины — это магазины, предлагающие товары и услуги с помощью Интернета».

Признак, указывающий на тот круг предметов, из числа которых нужно выделить определяемое множество предметов, называется **родовым признаком** или **родом**. В приведенных выше примерах это «прибор», «многоугольник», «тело (часть пространства)». **Признаки**, при помощи которых выделяется определяемое множество предметов из числа предметов, соответствующих родовому понятию, называются **видовым отличием** (их может быть один или несколько).

Разновидностью определения через **род** и **видовое отличие** является генетическое определение, в котором указывается способ образования только данного предмета. Например: «Коррозия металлов — это окислительно-восстановительный процесс, образующийся в результате окисления атомов металла». Много генетических определений в математике, к их числу относятся такие, как «цилиндр вращения», «конус вращения».

Определения через ближайший род и видовое отличие и генетические определения входят в класс **реальных** определений, ибо они определяют само понятие, например «информатика», «треугольник» и др.

К явным определениям относятся и **номинальные** определения. Последние дают определение термина, который обозначает понятие. Обычно в свой состав они включают слово «называется».

Приведем примеры номинальных определений, взятых из математики:

- «Целые и дробные выражения называются рациональными».
- «Окружностью с центром *O* и радиусом *R* называется фигура, состоящая из всех точек плоскости, которые находятся на расстоянии *R* от точки *O*».
- «Хордой окружности называется отрезок, соединяющий две точки окружности».
- «Хорда, которая проходит через центр окружности, называется диаметром».

В математике значительно больше номинальных определений, чем реальных. Та же закономерность нами раньше была подмечена и в отношении определений понятий в физике: там также преобладают номинальные определения над реальными.

Назовем некоторые понятия математики, которые имеют *номинальное определение*: «график», «аргумент», «функция», «строгое неравенство», «нестрогое неравенство», «линейное неравенство с одним неизвестным», «решение системы неравенств с одним неизвестным», «квадратное неравенство», «комплексное число», «действительная часть комплексного числа», «сопряженные комплексные числа», «арифметический квадратный корень из числа m», «периодическая десятичная дробь», «иррациональное число».

С помощью номинальных определений вводят термины, заменяющие понятия. Например, слово «стереометрия» происходит от греческих слов «стереос» — объемный, пространственный, и «метрео» — измерять.

Кроме того, с помощью номинальных определений вводят знаки, заменяющие понятие. В геометрии, например, точки обозначаются заглавными латинскими буквами *A*, *B*, *C* и т. п., а прямые — прописными латинскими буквами *a*, *b*, *c* и т. д., или двумя заглавными латинскими буквами *AB*, *CD* и т. д. Плоскости обозначаются греческими буквами α, β, γ и т. д.

В информатике больше реальных определений.

Чтобы определение было правильным, надо соблюдать правила явного определения понятий.

1. *Определение должно быть соразмерным*, т. е. объем определяющего понятия должен быть равен объему определяемого понятия: $Dfd \equiv Dfn$.

Это правило часто нарушается, в результате чего в определении понятий возникают логические ошибки. Типы этих логических ошибок:

а) *широкое определение*, когда определяющее понятие по объему шире, чем определяемое понятие $Dfd < Dfn$. Такая ошибка содержится в следующих определениях: «Костер — источник тепла»; «Персональный компьютер — вычислительная машина».

Понятие «окружность» неправильно определяется так: «Это фигура, которая описывается движущимся концом отрезка, когда другой его конец закреплен, или фигура, которая образована движущимся концом циркуля». С помощью этого определения нельзя отличить понятие «окружность» от понятия «дуга», так как не указано, что окружность — это кривая замкнутая линия;

б) *узкое определение*, когда определяющее понятие по объему у́же, чем определяемое понятие. $Dfd > Dfn$. Например: «Вершина — самая высокая часть холма», однако и у горы есть вершина. Другое: «Совесть — это осознание человеком ответственности перед самим собой за свои действия и поступки» (а перед обществом?);

в) *определение в одном отношении широкое, в другом* — узкое. Например, «Бочка — сосуд для хранения жидкостей», с одной стороны, это — широкое определение, так как сосудом для хранения жидкостей может быть бидон, ведро или графин. С другой стороны, это — узкое определение, так как бочка пригодна и для хранения огурцов, и цемента, и песка, а не только жидкостей.

2. *Определение не должно содержать круга*. Круг возникает тогда, когда определяемое понятие и определяющее понятие выражаются одно через другое. В определении «Вращение есть движение вокруг своей оси» будет допущен круг, если до этого понятие «ось» было определено через понятие «вращение» («Ось — это прямая, вокруг которой происходит вращение»).

Круг возникает и тогда, когда определяемое понятие характеризуется через него же, но лишь выражено иными словами, или когда определяемое понятие включается в определяющее понятие в качестве его части. Такие определения носят название тавтологий. Например: «Смешное — это то, что вызывает смех»; «Сверхпроводник — вещество, обнаруживающее явление сверхпроводимости»; «Количество — характеристика предмета с его количественной стороны».

Логически некорректным является употребление таких, например, тавтологий, как «масляное масло», «трудоемкий труд», «порученное поручение», «прогрессирующий прогресс», «заданная задача», «изобрету изобретение», «поиграем в игру», «памятный сувенир», «подытожим итоги», «старый старик» и др. Иногда можно встретить выражения типа «Закон есть закон», «Жизнь есть жизнь» и т. д., которые представляют собой прием усиления, а не сообщения в предикате какой-то информации о субъекте, так как субъект и предикат тождественны. Такие выражения не претендуют на определение соответствующего понятия: «закон», «жизнь» или др.

***3. Определение должно быть четким, ясным*.** Это правило означает, что смысл и объем понятий, входящих в *Dfn*, должен быть ясным и определенным. Определения понятий должны быть свободными от двусмысленности: не допускается подмена их метафорами, сравнениями и т. д.

Не являются правильными определениями следующие суждения: «Лень — мать всех пороков»; «Природа — это наука, способствующая пониманию вопросов, относящихся к духовной истине» (*Р. Эмерсон*); «Упрямство — порок ума»; «Такт — это разум сердца» (*К. Гуцков*); «Неблагодарность — род слабости» (И. Гёте). Эти истинные суждения представляют собой интересные метафоры, поучительные афоризмы, которыми мы пользуемся при передаче информации, но они не являются определениями понятий.

Ошибки, возможные в определении понятий

Какие же правила нарушены в приведенных ранее определениях понятий: «человек», «дикобраз», «гравитация»?

Нарушено первое правило, ибо объемы определяемого и определяющего понятия несоразмерны (ошибка называется «широкое определение»). Эта ошибка встречается особенно часто. Например, «Лев — хищное млекопитающее животное» (нельзя отличить львов от тигров), «Окружность — кривая линия, все точки которой одинаково удалены от центра» (опущено слово «замкнутая», поэтому нельзя отличить окружность от хорды).

Иные виды определения понятий[20]

Кроме указанных выше определений через ближайший род и видовое отличие, при употреблении которого люди допускают многообразные логические ошибки, существуют *иные виды определений.*

Индуктивные определения — такие, в которых определяемый термин используется в выражении понятия, которое ему приписывается в качестве его смысла. Примером индуктивного определения является определение понятия «натуральное число» с использованием самого термина «натуральное число»:

1. 1 — натуральное число.

2. Если n — натуральное число, то $n + 1$ — натуральное число.

3. Никаких натуральных чисел, кроме указанных в пунктах 1 и 2, нет.

[20] См.: *Горский Д.П.* Определение (Логико-методологические проблемы). М., 1974.

С помощью этого индуктивного определения получается натуральный ряд чисел: 1, 2, 3, 4... Таков алгоритм построения ряда натуральных чисел.

Определение через аксиомы. В современной математике и в математической логике широко применяется так называемый аксиоматический метод. Приведем пример. Пусть дана система каких-то элементов (обозначаемых *x*, *y*, *z*...), и между ними установлено отношение, выражаемое термином «предшествует». Не определяя ни самих объектов, ни отношения «предшествует», мы высказываем для них следующие утверждения (аксиомы):

1. Никакой объект не предшествует сам себе.

2. Если *x* предшествует *y*, а *y* предшествует *z*, то *x* предшествует *z*.

Так с помощью двух аксиом определены системы объектов вида «*x* предшествует *y*». Например, пусть объектами *x*, *y*, *z* являются люди, а отношение между *x* и *y* представляет собой «*x* старше *y*». Тогда выполняются утверждения 1 и 2. Если объекты *x*, *y*, *z* — действительные числа, а отношение «x предшествует y» представляет собой «*x* меньше *y*», то утверждения 1 и 2 также выполняются. Утверждения (т. е. аксиомы) 1 и 2 *определяют* системы объектов с одним отношением.

Деление понятий. Классификация

Виды деления. Правила деления понятий

Хотелось бы поговорить о *делении понятия*, ибо при осуществлении этой логической операции часто допускаются логические ошибки.

Иногда людям кажется, что трудностей нет. Например, на занятиях по логике студенты и ученики понятие «транспорт» делили так. *Транспорт* бывает (делится) на воздушный, автомобильный, метро, общественный, личный, речной, сухопутный, морской и другие виды. *Треугольники* делятся на прямоугольные, остроугольные, равносторонние, равнобедренные, тупоугольные, разносторонние.

Так отвечают студенты и школьники до тех пор, пока они не узнают правила, которые надо соблюдать, чтобы деление понятия было правильным. А эти два примера («транспорт» и «треугольник») свидетельствуют о неправильном делении.

Деление — логическая операция, посредством которой объем делимого понятия распределяется на ряд подмножеств с помощью избранного основания деления (т. е. признака, по которому производится деление).

Например, алгоритмы делятся на разветвленные и неразветвленные, дроби делятся на правильные и неправильные, органы чувств делят на органы зрения, слуха, обоняния, осязания и вкуса. Если с помощью определения понятия раскрывается его содержание, то с помощью деления понятия раскрывается его объем.

Признак, по которому производится деление объема понятия, называется *основанием деления*. Подмножества, на которые разделен объем понятия, называются *членами деления*. Делимое понятие — это родовое, а его члены деления — это виды данного рода, соподчиненные между собой, т. е. не пересекающиеся по своему объему (не имеющие общих членов). Приведем пример деления понятий: «В зависимости от источника энергии электростанции делят на ГЭС, гелиоэлектростанции, геотермальные и ветровые ТЭС (к разновидностям ТЭС относят АЭС)».

В зависимости от цели, практических потребностей одно понятие можно разделить по различным основаниям деления (например, по функционированию во времени вулканы делятся на действующие, уснувшие и потухшие; по форме — на центральные и трещинные).

Правильное деление понятия предполагает соблюдение определенных правил.

1. Деление должно быть соразмерным, т. е. сумма объемов видовых понятий должна быть равна объему (делимого) родового понятия. Например: «Материки в современную геологическую эпоху делятся на Евразию, Африку, Австралию, Северную Америку, Южную Америку и Антарктиду». Если ряд членов деления исчисляется десятками, то для соблюдения правила соразмерности после перечисления некоторых членов деления пишут «и др.», «и т. п.» или «и т. д.»: «Личные документы — это заявления, автобиографии, расписки, доверенности, завещания, удостоверения, паспорта, свидетельства и др.».

Нарушение этого правила ведет к ошибкам двух видов:

а) неполное деление, когда перечисляются не все виды данного родового понятия. Ошибочными будут такие деления: «Арифметические действия делятся на сложение, вычитание, умножение, деление, возведение в степень» (не указано «извлечение корня»);

б) деление с лишними членами. Примером такого ошибочного деления служит: «Углы делятся на прямые, тупые, острые и накрест лежащие». Здесь лишний член («накрест лежащие углы»).

2. Деление должно производиться только по одному основанию. В противном случае произойдет перекрещивание объемов понятий, выражающих члены деления. Правильные деления: «Рефлексы делятся на условные и безусловные»; «Прямые делятся на перпендикулярные к плоскости и неперпендикулярные к плоскости», «Многогранники делятся на правильные и неправильные», «Неравенства делятся на строгие и нестрогие». Неправильное деление: «Растения делятся на съедобные и несъедобные, однолетние и многолетние», так как здесь не одно, а два основания деления.

3. Члены деления должны исключать друг друга, т. е. не должны иметь общих элементов (пересекаться). Например: «Основные компоненты ЭВМ делятся на: процессор, память, устройства ввода — вывода».

Это правило тесно связано с предыдущим, так как если деление осуществляется не по одному основанию, то члены деления не будут исключать друг друга. Примеры ошибочных делений: «Часы делятся на наручные, настенные, башенные, настольные, золотые, анодированные, песочные», «Алгоритмы делятся на линейные, разветвленные и равносильные». В этих примерах члены деления не исключают друг друга. Это следствие допущенной ошибки смешения различных оснований деления.

4. Деление должно быть непрерывным, т. е. нельзя делать скачки в делении. Например, нельзя делить члены предложения на подлежащее, сказуемое и второстепенные члены, а надо сначала разделить на главные и второстепенные, а уже потом главные члены предложения делить на подлежащее и сказуемое.

При делении понятия «транспорт» нарушены сразу три правила: 1, 2 и 3. Надо делить так: «Транспорт делится на сухопутный, водный, воздушный».

При делении понятия «треугольник» нарушены 2 и 3 правила. Надо было бы треугольники делить *либо по видам углов*: на прямоугольный, остроугольный и тупоугольный, либо делить *по величине сторон*: равносторонний или неравносторонний. А соединять два основания деления нельзя! Неправильными будут и такие деления: «Дроби бывают десятичными, правильными, неправильными, периодическими, непериодическими», «Войны бывают справедливыми, несправедливыми, освободительными, захватническими, мировыми». Укажите, какие правила деления нарушены в этих примерах, свидетельствующих о неправильном делении понятий: «дробь», «война».

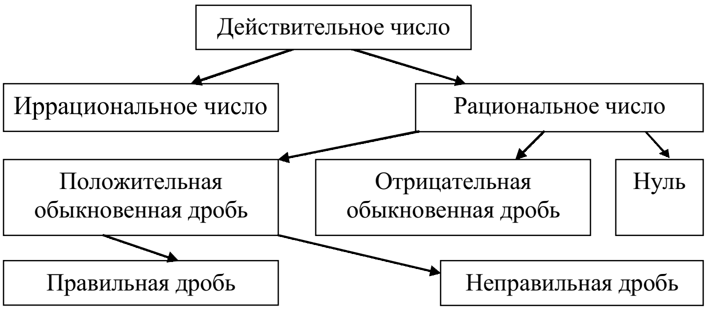
Виды деления: по видообразующему признаку и дихотомическое

Выше были даны примеры деления по видообразующему признаку.

Дихотомия (от греч. *dicha* и *tome* — сечение на две части), или двучленное деление, — один из видов деления понятий, когда объем делимого понятия делится на два противоречащих понятия (*А* и *не-А*). Например, «Внимание делится на произвольное и непроизвольное», «Животные делятся на позвоночных и беспозвоночных», «Почвы делятся на черноземные и нечерноземные». Иногда понятие *не-А* снова делится на *В* и *не-В*, затем *не-В* делится на *С* и *не-С* и т. д. Схему и пример дихотомического деления см. на с. 656.

Дихотомическое деление удобно: оно всегда соразмерно, члены деления исключают друг друга, деление производится только по одному основанию. Однако дихотомия применима не всегда (например, нельзя делить науки на точные и неточные, а художественные произведения на хорошие и нехорошие, т. к. четко указать критерий в этих случаях весьма трудно: это понятия с «размытым» объемом).

Пример дихотомического деления понятия действительного числа.



Приведем еще два примера деления математических понятий: «Множество целых чисел Z состоит из натуральных чисел, нуля и чисел, противоположных натуральным», «Множество рациональных чисел Q состоит из обыкновенных дробей и нуля».

Множество иррациональных чисел состоит из бесконечных непериодических десятичных дробей. Объединение множеств рациональных и иррациональных чисел образует множество действительных чисел.

Операция деления понятия применяется тогда, когда надо установить, из каких видов состоит родовое понятие. От деления следует отличать мысленное расчленение целого на части. Например: «Год делится на двенадцать месяцев: январь, февраль, март... декабрь»; «Дом делится на комнаты, коридоры, крышу, крыльцо» и др. Части целого не являются видами рода, т. е. делимого понятия. Мы не можем сказать: «Комната есть дом», а можем сказать: «Комната есть часть дома». Понятие «скелет человека» позволяет четко проиллюстрировать прием расчленения целого на части. «В скелете человека различаются следующие части: скелет головы, туловища и конечностей».

В математике также используется мысленное расчленение целого на части. Например: «Развертка поверхности любой прямой призмы представляет собой плоскую фигуру, составленную из боковых граней —

прямоугольников и двух оснований — многоугольников» или «Периметр прямоугольного треугольника состоит из суммы длин двух катетов и гипотенузы».

Классификация

Классификация является разновидностью деления понятия, представляет собой вид последовательного деления и образует развернутую систему, в которой каждый ее член (вид) делится на подвиды и т. д. Классификация сохраняется весьма длительное время, если она имеет научный характер. Например, постоянно уточняется и дополняется классификация элементарных частиц. От обычного деления классификация отличается относительно устойчивым характером. Вот пример классификации: «В организме животных и человека существуют четыре группы тканей: покровная, соединительная, мышечная и нервная».

Чтобы классификация была правильной, необходимо выполнять все правила операции деления.

Существуют классификация по видообразующему признаку и дихотомическая классификация. Вышеприведенные три примера представляют классификацию по видообразующему признаку. «Зеркала классифицируются на плоские и сферические; сферические зеркала классифицируются на вогнутые и выпуклые» — пример дихотомической классификации.

Хорошим средством наглядного представления классификации являются древовидные графы (или деревья).

Примерами естественных классификаций, используемых при обучении, могут быть следующие: классификация зон растительности, защитных окрасок животных, групп крови, типов воздушных масс и климатических поясов на территории России; геохронологическая таблица эр (кайнозойская, мезозойская и др.) и периодов в каждой эре; видов и жанров искусства; типов ЭВМ; классификация природных зон (тундра, тайга, лесостепь и др.); классификация направлений в литературе конца XIX — начала XX в.; классификация видов умозаключений, суждений, понятий, гипотез, способов опровержения (в логике) и многие другие.

Классификация в математике

Естественная классификация, как разновидность деления, часто используется в математике. Приведем примеры классификаций математического понятия «неравенство», сделанные по различным основаниям деления (классификации).

Пример классификации неравенств.

1. Квадратное неравенство, неравенство с одним неизвестным (линейное неравенство), численные неравенства.

2. Строгие и нестрогие неравенства.

3. Равносильные неравенства и неравносильные неравенства.

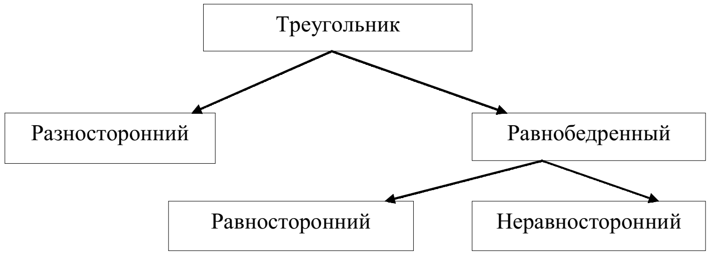
4. Верные неравенства и неверные неравенства.

5. Тригонометрические неравенства, показательные неравенства, логарифмические неравенства.

Другим примером математической классификации могут служить способы задания функций: формулой, таблицей, графиком, графом.

Примеры дихотомического деления (классификации) некоторых математических понятий: а) рациональные выражения делятся на целые и дробные; б) четность функции и нечетность функции; в) погрешность абсолютная и относительная; г) одночлены и многочлены; д) числа простые или составные (кроме 1); е) квадратное уравнение полное или неполное; ж) дроби правильные или неправильные; з) степень с рациональным показателем классифицируется так: степень с натуральным показателем; степень с целым показателем; степень с нулевым показателем; степень с дробным показателем; и) прогрессии арифметические или геометрические; к) углы вертикальные или невертикальные; л) вектор нулевой или ненулевой; м) периодическая и непериодическая функция.

Рассмотрим классификацию видов треугольников. Например, в зависимости от величины углов треугольники делят на *остроугольные*, *прямоугольные*, *тупоугольные*. А в зависимости от длин сторон треугольники делятся на *разносторонние* и *равнобедренные*. Равнобедренные треугольники в свою очередь делятся на неравносторонние и равносторонние. Можно предложить следующую схему классификации понятия «треугольник».



Эта схема деления понятия «треугольник» в таком виде включает в себя два дихотомических деления и производится только по одному основанию — *величине сторон*. Все правила деления понятий здесь выполнены.

Очень важен выбор *основания классификации*. Разные основания дают различные классификации одного и того же понятия, например, понятия «треугольник» (по сторонам или по углам).

Классификация может производиться по существенным признакам (естественная) и по несущественным признакам (вспомогательная).

Естественная классификация — это распределение предметов по группам (классам) на основании их существенных признаков. Зная, к какой группе принадлежит предмет, мы можем судить о его свойствах. Д.И. Менделеев, расположив химические элементы в зависимости от их атомного веса, вскрыл закономерности в их свойствах, создав Периодическую систему элементов, позволившую предсказать свойства не открытых еще химических элементов.

Естественная классификация животных охватывает до 1,5 млн видов, а классификация растений включает около 500 тыс. Однако каждая классификация относительная, приблизительна, ибо существуют переходные формы. Иногда переходная форма составляет самостоятельную группу (вид). Например, при классификации наук возникают такие переходные формы, как биохимия, геохимия, физическая химия, космическая медицина, астрофизика, математическая физика, математическая лингвистика и др.

Ни один учебный предмет не может обойтись без соответствующих классификаций. При этом как учителя, так и учащиеся должны знать общие правила, соблюдение которых поможет избежать ошибок в конкретных классификациях.

Вспомогательная классификация служит для более легкого отыскания предмета (или термина), поэтому осуществляется на основании их несущественных признаков. Они не позволяют судить о свойствах предметов (например, список фамилий, расположенных по алфавиту, алфавитный каталог книг, журнальных статей). Примерами вспомогательных классификаций являются: предметные или предметно-именные указатели в словарях, справочниках, учебниках и т. д.; справочники лекарственных препаратов, расположенных в алфавитном порядке; алфавитный список наиболее употребительных названий ярких звезд и др.

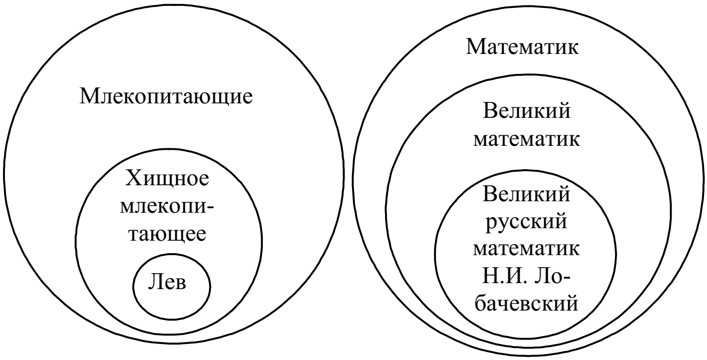
Ограничение и обобщение понятий

Ограничение — логическая операция перехода от родового понятия к видовому (например, «математик», «великий математик», «великий русский математик», «великий русский математик Софья Ковалевская»).

При ограничении мы переходим от понятия с бо́льшим объемом к понятию с меньшим объемом. Пределом ограничения является единичное понятие (в данном примере это «великий русский математик Софья Ковалевская»).

Обобщение — логическая операция, обратная ограничению, когда осуществляется переход от видового понятия к родовому путем отбрасывания от первого его видообразующего признака или признаков. Пример обобщения: «Опера П.И. Чайковского "Евгений Онегин", "опера П.И. Чайковского", "опера русского композитора XIX в.", "опера русского композитора", "опера", "произведение музыкального искусства", "произведение искусства"». При обобщении мы переходим от понятия с меньшим объемом к понятию с бо́льшим объемом. Обобщение применяется во всех определениях понятий, которые даются через род и видовое отличие. Пределом обобщения являются категории (философские, общенаучные, категории конкретных наук).

С помощью кругов Эйлера изобразим графически обобщение и ограничение понятий.



При обобщении отбрасываются признаки, при этом содержание уменьшается, а объем увеличивается. При ограничении, наоборот, к родовому понятию A добавляются все новые и новые видовые признаки, поэтому объем уменьшается, а содержание увеличивается.

Произведем обобщение и ограничение понятий: «Призма» и «Река».

Призма	
Ограничение	**Обобщение**
1. Треугольная призма	1. Многогранник
2. Треугольная призма, в основании которой лежит правильный треугольник со стороной 5 см	2. Геометрическое тело
3. Треугольная призма, в основании которой лежит правильный треугольник со стороной 5 см, построенная из картона, находящаяся в школе № 356 г. Москвы	3. Тело

Река	
Ограничение	**Обобщение**
1. Река в Африке	1. Большой пресный проточный водоем
2. Река в Африке, впадающая в Средиземное море	2. Пресный проточный водоем
3. Большая река в Африке, впадающая в Средиземное море	3. Пресный водоем
4. Большая река в Египте	4. Водоем
5. Река Нил	

Операции обобщения и ограничения понятий следует отличать от отношений целого к части (и наоборот). Например, неправильно обобщать понятие «городская улица» до понятия «город» или ограничивать понятие «средняя школа» до понятия «десятый класс», или ограничивать понятие «лошадь» до понятия «голова лошади».

Теперь перейдем к анализу другой фундаментальной формы мышления-суждения.

Суждение (высказывание)

Простое суждение

Суждение — это форма мышления, в которой что-либо утверждается или отрицается о существовании предметов, о наличии или отсутствии у них каких-либо свойств или об отношениях между предметами.

Поясним это определение примерами: «Существуют атомные ледоколы», «Некоторые многоугольники — правильные», «Город Москва находится севернее города Киева». Все эти суждения истинные. Суждения «На Земле сейчас существуют динозавры», «Все вычислительные машины — ЭВМ» — ложные. Суждения «Завтра обязательно будет морское сражение» и «Наша детская музыкальная школа приобретет новый рояль» — неопределенные, так как сегодня эти суждения не являются ни истинными, ни ложными.

Академик П.С. Новиков так определяет суждение: «Под *высказыванием* (*суждением*) мы понимаем всякое предложение, о котором имеет смысл говорить, что оно (его содержание) истинно или ложно»[21]. Мы также употребляем два понятия (суждение и высказывание) как синонимы.

Рассмотрим структуру простых суждений. Возьмем два примера.

1. Все персональные компьютеры (S) являются малогабаритными вычислительными машинами (P).

2. Некоторые трапеции (S) не являются равнобедренными трапециями (P).

---

[21] *Новиков П.С.* Конструктивная математическая логика с точки зрения классической. М., 1977. С. 9.

Буквой S обозначается субъект суждения, т. е. понятие о предмете суждения (в наших суждениях это понятия «персональный компьютер» и «трапеция»). Напомним, что все понятия, взятые вне суждения, пишутся в единственном числе, именительном падеже.

Буквой P обозначается предикат суждения, т. е. понятие о признаке того предмета, о котором говорится в суждении (здесь предикатами являются понятия «малогабаритная вычислительная машина» и «равнобедренная трапеция». Связка в наших суждениях выражена словами «являются» и «не являются», но связки могут выражаться словами «есть», «суть», группой слов, тире или просто согласованием слов (например, «Вечер наступил», «Буря мглою небо кроет»). «Все» и «некоторые» — кванторные слова.

Виды простых суждений

1. Суждение свойства (атрибутивное).

Примеры: «Сумма внутренних углов любого треугольника равна 180°», «Программист придумывает алгоритм», «Мед сладкий».

Структура этого вида суждений: «S есть P» или «S не есть P».

В них формулируются свойства, состояния, виды деятельности.

2. Суждения с отношениями.

Примеры: «Любая неправильная дробь больше любой правильной дроби», «Река Волга длиннее реки Москвы», «Родители старше своих детей», «В любом треугольнике каждая сторона меньше суммы двух других сторон», «Разветвленные алгоритмы встречаются чаще, чем линейные алгоритмы».

В них говорится об отношениях между предметами (двумя, тремя и т. д.).

3. Суждения существования.

Примеры: «Существуют подобные треугольники», «Существуют параллельные прямые», «Существуют ошибки в алгоритмах».

В них утверждается или отрицается существование предметов в действительности: «В столице России существует Большой театр», «Беспричинных явлений не существует», «Существует сказочный герой Снегурочка».

Суждение и предложение

Понятия в языке выражаются одним словом или группой слов. Суждения выражаются в виде повествовательных предложений, которые содержат сообщение, какую-то информацию. Например: «Светит яркое солнце», «Ни один кашалот не является рыбой». По цели высказывания предложения делятся на повествовательные, побудительные и вопросительные.

Вопросительные предложения не содержат в своем составе суждения, так как в них ничего не утверждается и не отрицается и они не истинны и не ложны. Например: «Когда ты начнешь отладку программы?» или «Могут ли компьютеры думать?». Если в предложении выражен риторический вопрос, — например: «Кто не хочет счастья?», «Кто из вас не любил?» или «Есть ли что-нибудь чудовищнее неблагодарного человека?» (В. Шекспир), то в нем содержится суждение, так как налицо утверждение, уверенность, что «Все хотят счастья» или «Все люди любят» и т. п.[22]

Побудительные предложения выражают побуждения собеседника (читателя или других людей) к совершению действия, высказывают совет, просьбу, приказ и т. д. Побудительные предложения не содержат суждения, хотя в них что-то утверждается («Следите за здоровьем») или отрицается («Не разводите костры в лесу», «Иди не на каток, а в школу!»). Но предложения, в которых сформулированы воинские команды и приказы, призывы или лозунги, выражают суждения, однако не ассерторические, а модальные[23]. Например: «Приготовьтесь к старту!», «Мой друг! Отчизне посвятим души прекрасные порывы» (А.С. Пушкин). Воспитанники А.С. Макаренко поместили в колонии призыв «Не пищать!», т. е. призыв не ныть, не падать духом в

[22] О вопросительных предложениях и роли вопроса в познании будет подробно сказано ниже.

[23] Модальные суждения включают в свой состав модальные операторы, выраженные словами: возможно, необходимо, запрещается, доказано и др. В современной логике императивы и команды рассматриваются в разделе неклассической (модальной) логики. В этом смысле они относятся к одному из видов модальных суждений.

трудные периоды жизни. Эти предложения выражают суждения, но суждения модальные, включающие в себя модальные слова. Как отмечает А.И. Уемов, выражают суждения и такие побудительные предложения: «Берегите мир!», «Не кури!», «Выполняй взятые на себя обязательства!»[24] . «Перед любым приемом пищи ешьте салат из сырых овощей или сырые фрукты» и «Не вредите себе перееданием» — эти советы (призывы) знаменитого американского ученого Поля Брэгга, взятые из его книги «Чудо голодания», являются суждениями. Является суждением и призыв: «Люди мира! Соединим усилия в решении общечеловеческих, глобальных проблем!».

Однако ряд логиков считает, что никакие побудительные предложения не содержат суждения, так как якобы не содержат утверждения или отрицания и не являются ни истинными, ни ложными.

Односоставные безличные предложения (например: «Знобит», «Подморозило»), назывные предложения (например: «Утро», «Осень») и некоторые виды повествовательных предложений (например: «Он — знаменитый хоккеист», «Атлантический океан находится от нас далеко») являются суждениями лишь при рассмотрении их в контексте и уточнении: «Кто — он?», «От кого — нас?». Если этого уточнения не сделано, то нельзя установить, является ли данное суждение истинным или ложным.

В некоторых случаях субъект суждения (*S*) не совпадает с грамматическим подлежащим, а предикат суждения (*P*) — с грамматическим сказуемым. В примере «Информатика — наука» совпадение полное. В примере «Алгоритмическое мышление помогает разумно планировать свои действия» совпадения нет.

Классификация простых суждений по качеству и количеству

1. **По качеству** суждения бывают утвердительными или отрицательными в зависимости от того, как

[24] См.: *Уемов А.И.* Истина и пути ее познания. М., 1975. С. 42–43.

выражена связка (словами «есть», «является», «не есть», «не является»). Например, «Все гвоздики являются цветами» — утвердительное суждение, а «Некоторые дома не являются электрифицированными» — отрицательное. «Все равносторонние треугольники являются остроугольными» — утвердительное суждение. «Некоторые компьютеры не являются персональными компьютерами» — отрицательное суждение.

2. **По количеству** суждения делятся на *общие* (кванторные слова «все» или «ни один»), *частные* (кванторное слово «некоторые») или *единичные*. «Все ромбы — параллелограммы» — общее суждение. «Ни одно нечетное число не делится на 2» — общее суждение.

«Некоторые компьютеры не подсоединены к сети Интернет» — частное суждение. «Некоторые неравенства являются строгими неравенствами» — частное суждение.

«Московский Кремль находится в столице России» — единичное (так как субъектом является единичное понятие «Московский Кремль».

Объединенная классификация простых суждений по качеству и количеству

1. *Общеутвердительные суждения.* Обозначаются буквой *A*, имеют структуру: «Все *S* есть *P*». Например, «Все озера — водоемы», «Всякая неправильная дробь представима в виде смешанного числа», «Процессор — устройство управления компьютером».

2. Частноутвердительные суждения. Обозначаются буквой *I*. Структура: «Некоторые *S* есть *P*». Например, «Некоторые металлы тяжелее воды», «Некоторые многогранники являются правильными многогранниками».

Условные обозначения для утвердительных суждений взяты от слова affirmo — утверждаю (при этом берутся две первые гласные буквы: *A* — для обозначения общеутвердительного и *I* — для обозначения частноутвердительного суждения).

3. *Общеотрицательные суждения.* Обозначаются буквой *E*. Структура: «Ни одно *S* не есть *P*». Например,

«Ни один гладиолус не имеет шипов», «Ни один куб не является плоской геометрической фигурой».

4. *Частноотрицательные суждения*. Обозначаются буквой O. Структура: «Некоторые S не P». Например, «Некоторые книги не являются букинистическими», «Некоторые алгоритмы не являются циклическими».

Условные обозначения для отрицательных суждений взяты от слова nego — отрицаю (берутся две гласные буквы).

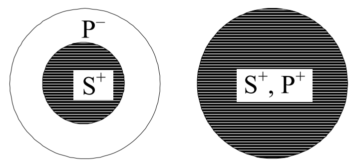
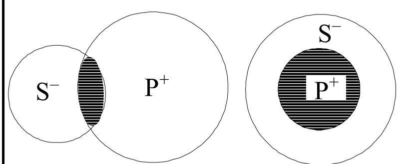
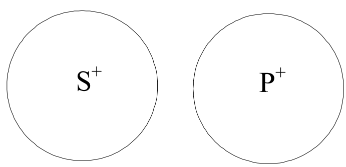
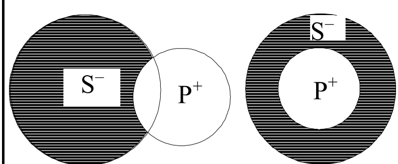
В объединенной классификации единичные суждения относятся к общим суждениям, так как в них речь идет обо всем классе предметов, мыслимых в субъекте суждения.

Распределенность терминов в категорических суждениях

Так как простое категорическое суждение состоит из терминов S и P, которые, являясь понятиями, могут рассматриваться со стороны объема, то любое отношение между S и P в простых суждениях может быть изображено в виде круговых схем Эйлера, отражающих отношения между понятиями. В суждениях термины S и P могут быть либо распределены, либо не распределены. Термин считается распределенным, если его объем полностью включается в объем другого термина или полностью исключается из него. Термин будет нераспределенным, если его объем частично включается в объем другого термина или частично исключается из него.

S распределен в общих суждениях и не распределен в частных; P всегда распределен в отрицательных суждениях, в утвердительных же он распределен тогда, когда по объему $P \leqslant S$. Распределенность терминов в категорических суждениях можно выразить в виде схемы, где знаком (+) выражена распределенность термина, а знаком (−) его нераспределенность. В ней же дана объединенная информация о простых суждениях.

Без знания правил распределенности терминов в категорических суждениях отпадает один из способов проверки, правильно ли построено умозаключение. Распределенность терминов некоторые авторы рассматривают в отдельных моментах иначе.

Вид суждения и его обозначение	Распределенность или нераспределенность *S* и *P*
A — общеутвердительное	
I — частноутвердительное	
E — общеотрицательное	
O — частноотрицательное	

Сложное суждение и его виды

Построение таблиц истинности

Сложные суждения образуются из простых суждений с помощью логических связок: конъюнкции, дизъюнкции, импликации, эквиваленции и отрицания, которые приблизительно соответствуют союзам естественного языка «и», «или», «если... то», «тогда и только тогда, когда...» и «неверно, что...». Если вопрос об истинности или ложности простых суждений решается путем обращения к действительности, то значение истинности сложных суждений определяется с помощью таблиц истинности, где буквы *a, b, c* — переменные, обозначающие простые суждения; буква «и» обозначает истину, а «л» — ложь.

Таблицу истинности для **конъюнкции** можно разъяснить на следующем примере: «Сверкнула молния (*a*), и загремел гром (*b*)». Она будет истинна в том и только в том случае, если суждения *a* и *b* оба истинны. Это и отражено в первой строке. Если же *a* ложно или *b* ложно либо и *a*, и *b* ложны, то вся конъюнкция обращается в ложь.

Дизъюнкция называется **нестрогой**, если ее члены не исключают друг друга. Такое высказывание истинно в том случае, если истинно хотя бы одно из двух суждений (первые три строки таблицы), и ложно, если оба суждения ложны. Обозначается $a \vee b$.

Суждение: «Увеличение рентабельности достигается путем повышения производительности труда (*a*) или путем снижения себестоимости продукции» (*b*) — пример нестрогой дизъюнкции.

Члены строгой дизъюнкции) ($a \dot{\vee} b$) исключают друг друга. Это можно разъяснить на примере: «Я сейчас работаю на компьютере (*a*) или плаваю в бассейне (*b*)». Я не могу одновременно делать то и другое. Строгая дизъюнкция истинна тогда, когда лишь одно из двух простых суждений истинно, и только одно.

a	b	$a \wedge b$	$a \vee b$	$a \dot{\vee} b$	$a \rightarrow b$	$a \equiv b$
И	**И**	**И**	**И**	**Л**	**И**	**И**
И	**Л**	**Л**	**И**	**И**	**Л**	**Л**
Л	**И**	**Л**	**И**	**И**	**И**	**Л**
Л	**Л**	**Л**	**Л**	**Л**	**И**	**И**

a	$\bar{a}$
И	**Л**
Л	**И**

Таблицу для **импликации** ($a \to b$) можно разъяснить на таком примере: «Если по проводнику пропустить электрический ток (a), то проводник нагреется (b)»[25].

Импликация истинна всегда, кроме одного случая, когда первое суждение истинно, а второе — ложно. Действительно, не может быть, чтобы по проводнику пропустили электрический ток, т. е. суждение *(a)* было истинным, а проводник не нагрелся, т. е. чтобы суждение *(b)* было ложным.

В таблице **эквиваленция** $(a \equiv b)$ характеризуется так: $a \equiv b$ истинно в тех и только в тех случаях, когда и a, и b либо оба истинны, либо оба ложны.

Отрицание суждения a (т. е. $\bar{a}$) характеризуется так: если a истинно, то его отрицание ложно, и если a — ложно, то $\bar{a}$ — истинно.

Если в формулу входят три переменные, то таблица истинности для этой формулы, включающая все возможные комбинации истинности или ложности ее переменных, будет состоять из $2^3 = 8$ строк; при четырех переменных в таблице будет $2^4 = 16$ строк; при пяти переменных в таблице имеем $2^5 = 32$ строки; при n переменных 2^n строк.

Алгоритм распределения значений И и Л для переменных (например, для четырех переменных a, b, c, d) таков. Имеем $2^4 = 16$ строк. В столбце для a сначала пишем 8 раз «И» и 8 раз «Л». В столбце для b сначала пишем 4 раза «И» и 4 раза «Л», затем повторяем и т. д.

Тождественно-истинной формулой называется формула, которая при любых комбинациях значений для входящих в нее переменных принимает значение «истина». ***Тождественно-ложная формула*** — та, которая (соответственно) принимает только значение «ложь». ***Выполнимая формула*** может принимать значения как «истина», так и «ложь».

Приведем доказательство тождественной истинности формулы:

$$((a \to \bar{b}) \wedge (a \to \bar{c}) \wedge (b \vee c)) \to \bar{a}\,.$$

[25] Мы отвлекаемся здесь от различия между импликацией логики высказываний и содержательным союзом «если... то».

a	b	c	$\bar{a}$	$\bar{b}$	$\bar{c}$	$a \to \bar{b}$	$a \to \bar{c}$	$((a \to \bar{b}) \wedge \wedge (a \to \bar{c})$	$b \vee c$	$(a \to \bar{b}) \wedge \wedge (a \to \bar{c}) \wedge \wedge (b \vee c)$	$((a \to \bar{b}) \wedge \wedge (a \to \bar{c}) \wedge \wedge (b \vee c)) \to \to \bar{a}$
И	**И**	**И**	**Л**	**Л**	**Л**	**Л**	**Л**	**Л**	**И**	**Л**	**И**
И	**И**	**Л**	**Л**	**Л**	**И**	**Л**	**И**	**Л**	**И**	**Л**	**И**
И	**Л**	**И**	**Л**	**И**	**Л**	**И**	**Л**	**Л**	**И**	**Л**	**И**
И	**Л**	**Л**	**Л**	**И**	**И**	**И**	**И**	**И**	**Л**	**Л**	**И**
Л	**И**	**И**	**И**	**Л**	**Л**	**И**	**И**	**И**	**И**	**И**	**И**
Л	**И**	**Л**	**И**	**Л**	**И**	**И**	**И**	**И**	**И**	**И**	**И**
Л	**Л**	**И**	**И**	**И**	**Л**	**И**	**И**	**И**	**И**	**И**	**И**
Л	**Л**	**Л**	**И**	**И**	**И**	**И**	**И**	**И**	**Л**	**Л**	**И**

Являются ли приведенные ниже формулы законом логики (тавтологией, или тождественно-истинной формулой)?

1. $(a \to b) \equiv (\bar{a} \vee b)$.

2. $\overline{a \vee b \vee c} \equiv (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge \bar{c})$.

3. $((a \wedge b) \to c \equiv (\bar{c} \to (\overline{a \wedge b})$.

4. $(((a \wedge b) \to \bar{c}) \wedge c) \to (\overline{a \wedge b})$.

5. $((\bar{a} \to \bar{b}) \wedge (c \to \bar{d}) \vee (b \vee d)) \to (\bar{\bar{a}} \vee \bar{c})$.

Логическая структура вопроса и ответа

Виды вопросов. Предпосылки вопросов. Правила постановки простых и сложных вопросов.

Вопрос в познании играет особенно большую роль, так как все познание мира начинается с вопроса, с постановки проблемы. Проблемы перед познанием, в том числе перед различными науками, ставит сама жизнь. В настоящее время жизнь поставила перед людьми такие важнейшие проблемы, как борьба за мир и предотвращение ядерной катастрофы, получение замедленной термоядерной реакции, разработка методов лечения онкологических заболеваний, обеспечение растущего населения продовольствием и многие другие.

Вопросы задаются и с целью получения некоторой информации, уже имеющейся у других людей, с целью выявления чьего-то личного мнения или с целью обучения. Велика роль вопросов в процессе социологических исследований, проводимых в форме интервью, анкетирования, при массовом или выборочном опросе. В процессе передачи все большего числа интеллектуальных функций ЭВМ умение правильно поставить вопрос для введения его в ЭВМ, способность четко, корректно его (запрос) сформулировать содействует быстрейшему информационному поиску нужных сведений, цифрового материала и др. Велика роль правильной, однозначной постановки вопросов в судебно-следственной практике.

Вопросы формулируются вопросительными предложениями, которые не выражают суждений и, следовательно, не являются истинными или ложными. Например: «Запущен ли искусственный спутник Марса?»; «Все ли вулканы — горы?»; «Как два алгоритма управляют одним роботом?»

Всякий вопрос включает в себя, во-первых, исходную информацию о мире (например, о двух алгоритмах, об искусственных спутниках), которая называется *базисом* или *предпосылкой вопроса*, и, во-вторых, указание на ее недостаточность и необходимость дальнейшего дополнения и углубления знаний. В вопросе «Где проходили XXI Олимпийские игры?» базисом служит неявно содержащееся в нем утверждение «Существует *x*, являющийся местом проведения XXI Олимпийских игр».

Вопрос — это логическая форма, включающая исходную, или базисную, информацию с одновременным указанием на ее недостаточность с целью получения новой информации в виде ответа.

Виды вопросов

Обычно различают два вида (типа) вопросов.

I тип — *уточняющие* (определенные, прямые, или *«ли»-вопросы).*

Например: «Верно ли, что А. Н. Шмелев стал победителем в соревновании по лыжам на марафонскую дистанцию?»; «Бывают ли подводные землетрясения?» и др.

Во всех этих вопросах присутствует частица «ли», включенная в словосочетания «верно ли», «действительно ли», «надо ли» и т. д.

Уточняющие вопросы могут быть простыми или сложными. *Простые вопросы* в свою очередь делятся на условные и безусловные.

«Верно ли, что космонавты побывали в открытом космосе?» — простой безусловный вопрос. «Верно ли, что в равнобедренном треугольнике совпадают высота, медиана и биссектриса?», «Верно ли, что любое составное число может быть представлено в виде произведения простых чисел?» — два простых безусловных вопроса.

«Можно ли представить число 27 в виде куба какого-либо числа?»

«Верно ли, что если повысить температуру металла до точки плавления, то он перейдет в жидкое состояние?» — простой условный вопрос.

Сложные вопросы (как и сложные суждения) делятся на вопросы конъюнктивные (соединительные) и дизъюнктивные (разделительные), включающие в себя строгую или нестрогую дизъюнкцию. Каждый сложный вопрос можно разбить на два или несколько простых.

Например:

1. «Вы пойдете в поход на байдарках или в пеший туристический поход?»

2. «Сможете развести костер или не сможете?»

Вопрос типа: «Если будет хорошая погода, то мы поедем на экскурсию?» — не относится к сложным вопросам, так как его нельзя разбить на два самостоятельных простых вопроса. Это пример простого вопроса.

II тип вопросов — *восполняющие* (неопределенные, непрямые, или *«к»-вопросы).* Эти вопросы включают в свой состав вопросительные слова: «где?», «когда?», «кто?», «что?», «почему?», «какие?» и др. Невольно вспоминается телепередача «Клуба знатоков»: «Что? Где? Когда?» Эти вопросы также делятся на простые и сложные. Например, вопросы: «Какие простые числа лежат между числами 10 и 20?», «Чему равна площадь треугольника *ABC?»*, «Какой город является столицей Португалии?», «Что означает слово "спонсор"?» — являются простыми.

«Что такое угол?», «Какие признаки равенства треугольников?», «Чему равна сумма острых углов прямоугольного треугольника?», «Как взаимодействуют алгоритмы?» — простые восполняющие вопросы.

Сложные восполняющие вопросы можно разбить на два или несколько простых восполняющих вопроса, например: «Где, когда, в какой семье родился Джеймс Фенимор Купер?», или «Как при увеличении стороны равностороннего треугольника в 2 раза изменяется его периметр или площадь?», или «Кто является автором романа "Красное и черное" и романа "Пармская обитель"?», «Что нарисовано: луч, прямая или отрезок?».

Правила постановки простых и сложных вопросов

1. Корректность постановки вопроса. Итак, вопросы должны быть правильно поставленными, корректными. Провокационные и неопределенные вопросы недопустимы.

2. Предусмотрение альтернативности ответа («да» или «нет») на уточняющие вопросы. Например: «Было ли полное солнечное затмение в 1992 г. на территории Испании?», «Признает ли Петров себя виновным в предъявленном ему обвинении?»

3. Краткость и ясность формулировки вопроса. Длинные, запутанные, нечеткие вопросы затрудняют их понимание и ответ на них.

4. Простота вопроса. Если вопрос сложный, то его лучше разбить на несколько простых.

5. В сложных разделительных вопросах необходимо перечислять все альтернативы. Например: «К какому виду электростанций относится данная электростанция: теплоэлектростанция (ее разновидность —

атомная электростанция), гидроэлектростанция, солнечная или геотермальная?» Здесь нет пятой альтернативы — ветровая электростанция.

6. Необходимость отличать обычный вопрос от риторического (например: «Кто из вас не любит А.С. Пушкина?»). Риторические вопросы являются суждениями, так как в них содержится утверждение или отрицание, обычные же вопросы суждениями не являются.

Логическая структура и виды ответов

1. Ответы на простые вопросы. Ответ на простой вопрос первого вида (уточняющий, определенный, прямой, «ли» вопрос) предполагает одно из двух: «да» или «нет». Например: «Является ли Александр Дюма-отец автором романа “Двадцать лет спустя”?» (ответ: «да»).

Ответ на простой вопрос второго вида (восполняющий, непрямой, «к»-вопрос) требует привлечения точной, исчерпывающей информации (о времени, месте, причинах, результатах события, природного явления и других факторах).

2. Ответы на сложные вопросы. Ответ на сложный конъюнктивный (соединительный) вопрос требует ответа на все простые вопросы, входящие в сложный. Например: «Верно ли, что настойку женьшеня применяют в качестве тонизирующего средства при гипотонии, переутомлении, неврастении?» (ответ: «да», «да», «да»).

При ответе же на сложный дизъюнктивный (разделительный) вопрос часто достаточно дать ответ лишь на один или несколько из составляющих его простых вопросов (на одну альтернативу). Например, на вопрос: «Предпочитаете ли вы летом путешествовать или отдыхать у речки?» — ответом будет суждение: «Я предпочитаю летом отдыхать у речки».

Как уже отмечалось в начале параграфа, роль вопроса весьма важна и в обучении. При ответе на вопрос человек должен выявить предпосылки вопроса и установить, истинны они или ложны. При ложных предпосылках вопрос должен быть отвергнут как некорректный, т. е. неправильно поставленный, например: «Все ли гейзеры — вулканы?» Корректные вопросы вызывают активную мыслительную деятельность, если в них заключено оптимальное количество неопределенности. Если же вопрос содержит слишком большую неопределенность, то он ставит человека в очень сложное положение. Но поиск ответов именно на такие вопросы является главным источником развития науки.

Логическая связь суждений образует следующую фундаментальную логическую форму — умозаключение.

Умозаключение

Общее понятие об умозаключении и его виды

Умозаключение состоит из одной, двух или большего числа посылок, или предпосылок, т. е. суждений, из которых мы получаем новое суждение, новое знание, которое называется заключением. *Объединение посылок и заключения является умозаключением.* Посылки стоят над чертой, а заключение — под чертой. Рассмотрим различные примеры и виды умозаключений.

1. Все гиперболы — конические сечения.

Некоторые конические сечения — гиперболы.

2. Все конусы — тела вращения.

Все усеченные конусы есть конусы.

Все усеченные конусы — тела вращения.

Существует три вида умозаключений: *дедуктивные* (*дедукция*), *индуктивные* (*индукция*) и умозаключения *по аналогии*. У каждого из них есть свои разновидности умозаключений.

Дедуктивное умозаключение

Дедуктивные умозаключения — те умозаключения, у которых между посылками и заключением имеется отношение логического следования.

В традиционной (не в математической) логике дедукцией называют умозаключения от знания бóльшей степени общности к знанию меньшей степени общности (это — частный случай определения через логическое следование).

Видов дедуктивного умозаключения много, назовем некоторые из них: категорический силлогизм, энтимема, полисиллогизм, сорит, условно-категорические умозаключения, дилеммы, трилеммы и др.

Простой категорический силлогизм

Состав, фигуры, модусы, правила категорического силлогизма.Сокращенный категорический силлогизм (энтимема)

Наиболее распространенным дедуктивным умозаключением является простой категорический силлогизм.

Все прямоугольники (*M*) — параллелограммы (*P*).
Все квадраты (*S*) есть прямоугольники (*M*).

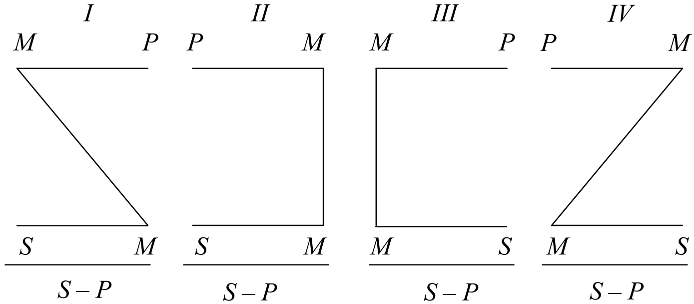
Все квадраты (*S*) есть параллелограммы (*P*).

Понятия, входящие в состав силлогизма, называются *терминами силлогизма*. Их три: бо́льший термин, предикат заключения («параллелограмм»), обозначается буквой *P*; средний термин, обозначается *M* («прямоугольник»); меньший термин, субъект заключения («квадрат»), обозначается буквой *S*. Средний термин отсутствует в заключении.

Фигуры категорического силлогизма

Существуют четыре фигуры категорического силлогизма (в зависимости от расположения среднего термина в посылках).

Структура приведенного примера соответствует I фигуре.



Определите фигуру категорического силлогизма.

1. Все кубы — правильные многогранники.
Эта фигура — куб.

Эта фигура — правильный многогранник.

2. Все рыбы дышат жабрами.
Ни один кит не дышит жабрами.
Ни один кит не является рыбой.

3. Все белые медведи — млекопитающие.
Все белые медведи — звери, живущие в естественных условиях в Арктике.

Некоторые звери, живущие в естественных условиях в Арктике, — млекопитающие.

Ответы: I, II, III фигуры (соответственно).

Рассмотрим **особые правила фигур**, при нарушении которых возникают логические ошибки.

Правило I фигуры: бóльшая посылка должна быть общей, а меньшая — утвердительной.

Правило II фигуры: бóльшая посылка общая; одна из посылок, а также заключение — отрицательные.

Правило III фигуры: меньшая посылка должна быть утвердительной, а заключение — частное.

Правило IV фигуры: общеутвердительных заключений не дает.

При нарушении этих правил возникают логические ошибки.

Покажем некоторые разновидности логических ошибок. Первый силлогизм о калькуляторах построен по II фигуре, у которой одна из посылок и заключение должны быть отрицательными суждениями, а у него — все суждения только утвердительные.

1. Все компьютеры — вычислительные машины.
Все калькуляторы — вычислительные машины.

Все калькуляторы — компьютеры.

2. Все мамонты вымерли.
Динозавры не есть мамонты.

Динозавры не вымерли.

Ошибочность второго силлогизма, построенного с заключением «Динозавры не вымерли» в том, что это умозаключение построено по I фигуре; в ней вторая посылка должна быть утвердительным суждением, а здесь она является отрицательным суждением.

Правила построения категорического силлогизма

1. В каждом силлогизме должно быть только три термина (*S*, *P*, *M*). Ошибка называется «учетверение терминов».

2. Средний термин должен быть распределен по крайней мере в одной из посылок.

3. Термин распределен в заключении тогда и только тогда, когда он распределен в посылке.

4. Из двух отрицательных или двух частных посылок нельзя сделать никакого заключения.

5. Если одна из посылок частная, то и заключение должно быть частным.

6. Если одна из посылок отрицательная, то и заключение должно быть отрицательным.

Приведем примеры логических ошибок, возникающих при нарушении правил построения категорических силлогизмов.

Пример 1. Знания — сила.

Студент обладает знаниями.

Студент обладает силой.

Логическая ошибка: слово «сила» употребляется в разных значениях, т. е. произошло «учетверение» терминов.

Пример 2.

Правильные многоугольники — равносторонние фигуры.

Ромбы — равносторонние фигуры.

Все ромбы — правильные многоугольники.

Ошибка в том, что этот категорический силлогизм построен по II фигуре, а в ней одна из посылок, а также заключение должны быть отрицательными суждениями. Здесь все три суждения — утвердительные суждения.

Пример 3.

Лук — оружие дикарей.

Это растение — лук.

Это растение является оружием дикарей.

Пример 4.

Движение вечно.

Хождение в институт — движение.

Хождение в институт вечно.

Слову «лук» в посылках придаются два разных значения; умозаключение построено неправильно. В примере 4 понятие «движение» взято в двух разных смыслах: философском и физическом.

Сокращенный категорический силлогизм (энтимема)

Термин «энтимема» в переводе с греческого языка означает «в уме», «в мыслях».

Энтимемой или *сокращенным категорическим силлогизмом* называется силлогизм, в котором пропущена одна из посылок или заключение.

Пример энтимемы: «Данная фигура — ромб, следовательно, диагонали в ней взаимноперпендикулярны».

Здесь пропущена бóльшая посылка: «Все ромбы есть фигуры, в которых диагонали взаимно перпендикулярны».

В энтимеме «Все углеводороды суть органические соединения, поэтому метан — органическое соединение» пропущена меньшая посылка. Восстановим энтимему до полного категорического силлогизма:

Все углеводороды суть органические соединения.
Метан — углеводород.
___
Метан — органическое соединение.

В энтимеме «Все рыбы дышат жабрами, а окунь — рыба» пропущено заключение — «Окунь дышит жабрами».

При восстановлении энтимемы надо определить, какое суждение является посылкой, а какое — заключением. Посылка обычно стоит после союзов «так как», потому что», «ибо» и т. п., а заключение стоит после слов «следовательно», «поэтому», «потому» и т. д.

Энтимемами пользуются чаще, чем полными категорическими силлогизмами. Известный отечественный математик и философ С.А. Яновская пишет об энтимеме в ходе математического доказательства: «...Большинство доказательств являются на самом деле энтимемами, т. е. содержат посылки, которые молча подразумеваются, так как не вызывают сомнений ни у самого доказывающего, ни у его ученика или человека, спорящего с ним. А то, что не вызывает сомнения, не нужно и оговаривать»[26].

Полисиллогизмы. Сориты

В мышлении встречаются не только отдельные полные или сокращенные силлогизмы, но и сложные силлогизмы, состоящие из двух, трех или большего числа простых силлогизмов. Цепи силлогизмов называются полисиллогизмами.

Полисиллогизмом (сложным силлогизмом) называются два или несколько простых категорических силлогизмов, связанных друг с другом таким образом, что заключение одного из них становится посылкой другого. Различают прогрессивные и регрессивные полисиллогизмы.

В прогрессивном полисиллогизме заключение предшествующего полисиллогизма (просиллогизма) становится большей посылкой последующего силлогизма (эписиллогизма). Приведем пример прогрессивного полисиллогизма, представляющего собой цепь из двух силлогизмов и имеющего схему:

Спорт *(А)* укрепляет здоровье *(В).*	Все *A* суть *B.*
Гимнастика *(С)* — спорт *(А).*	Все *C* суть *A.*
Значит, гимнастика *(С)* укрепляет здоровье *(В).*	Значит, все *C* суть *B.*
Аэробика *(D)* — гимнастика (*С*).	Все *D* суть *C.*
Аэробика *(D)* укрепляет здоровье *(В).*	Все *D* суть *B.*

Приведем еще один пример прогрессивного полисиллогизма.

Все, что способствует прогрессу человечества, необходимо.

Образование способствует прогрессу общества.

Значит, образование необходимо.

Профессиональное образование — вид образования.

Профессиональное образование необходимо.

Математическое образование для математиков — профессиональное образование.

Математическое образование для математиков необходимо.

[26] *Яновская С.А.* Методологические проблемы науки. М., 1972. С. 159.

Сорит (с общими посылками)

Прогрессивный и регрессивный полисиллогизмы в мышлении чаще всего применяются в сокращенной форме — в виде соритов. Существуют два вида соритов: прогрессивный и регрессивный.

Прогрессивный сорит (иначе называется по имени описавшего этот сорит логика *гоклениевским*) получается из прогрессивного полисиллогизма путем выбрасывания заключений предшествующих силлогизмов и больших посылок последующих. Прогрессивный сорит начинается с посылки, содержащей предикат заключения, и заканчивается посылкой, содержащей субъект заключения.

Всякая наука (A) полезна (B).

Математика (C) — наука (A).

Арифметика (D) — часть математики (C).

Арифметика (D) полезна (B).

Приведем еще пример прогрессивного сорита, образованного из вышеприведенного прогрессивного полисиллогизма.

Все, что способствует прогрессу человечества, необходимо.

Образование способствует прогрессу общества.

Профессиональное образование — вид образования.

Математическое образование для математиков — вид профессионального образования.

Математическое образование для математиков необходимо.

Схема прогрессивного сорита:

Все A суть B.

Все C суть A.

Все D суть C.

Все D суть B.

Выводы логики высказываний. Прямые выводы

Условные умозаключения. Чисто условные. Условно-категорические умозаключения

К дедукции относятся и умозаключения, посылками которых являются условные суждения.

Отличие их от предыдущих умозаключений в том, что в них суждения не расчленяются на субъект и предикат. Используя правила прямых выводов, мы из истинных посылок выводим истинное заключение.

Если человек является компьютерно-грамотным (a)
то он умеет читать и писать с помощью ЭВМ *(b).*
Этот человек является компьютерно-грамотным (a).

Этот человек умеет читать и писать с помощью ЭВМ (b).

Условные умозаключения делятся на две группы: *чисто условные* и *условно-категорические*.

В чисто условном умозаключении все посылки являются условными суждениями. Его структура (при наличии двух посылок) такая:

Если a, то b.	Схема:
Если b, то c.	$a \to b,\ b \to c.$
Если a, то c.	$a \to c.$

Формула: $((a \to b) \wedge (b \to c)) \to (a \to c).$

Если мы используем компьютер, то ускоряем свою работу.

Если мы ускоряем свою работу, то результат работы положительный.

Если мы используем компьютер, то результат от работы положительный.

Число условное умозаключение может быть построено и по такой формуле:

$$((a \to b) \wedge (\bar{a} \to b)) \to b.$$

Пример.

Если мы используем ЭВМ, то мы выполним работу в срок.

Если мы не используем ЭВМ, то мы выполним работу в срок.

Мы выполним работу в срок.

В отличие от чисто условного в *условно-категорическом умозаключении* одна посылка — условное суждение, а другая — простое категорическое суждение. В нем два правильных модуса, дающих заключение, которое с необходимостью следует из посылок:

1. *Модус утверждающий (modus ponens)*, формула которого

$((a \to b) \wedge a) \to b.$

Здесь a называется основанием, b — следствием.

Пример.

Если магнит ударить *(a)*, то он размагнитится *(b)*.

Магнит ударили *(a)*.

Магнит размагнитился (b).

2. Модус отрицающий (modus tollens), формула которого

$((a \to b) \wedge \bar{b}) \to \bar{a}.$

Пример.

Если треугольник прямоугольный *(a)*, то к нему применима теорема Пифагора *(b)*.

К данному треугольнику не применима теорема Пифагора $(\bar{b})$.

Данный треугольник не является прямоугольным треугольником $(\bar{a})$.

Таким образом, при истинных посылках можно получить истинное заключение, если умозаключить от утверждения основания к утверждению следствия или от отрицания следствия к отрицанию основания.

Всегда ли заключение будет истинным суждением? Нет! Оно может быть не истинным, а вероятным, если умозаключение построено от утверждения следствия к утверждению основания или от отрицания основания к отрицанию следствия — это два вероятных модуса.

Их формулы:

$((a \to b) \wedge b) \to a$ и $((a \to b) \wedge \bar{a}) \to \bar{b}$

не являются законами логики.

Если человек умеет работать в Интернете (a), то он умеет работать на персональном компьютере (b).

Этот человек умеет работать на персональном компьютере (b).

Вероятно, этот человек умеет работать в Интернете (a)

Если магнит нагреть (а), то он размагнитится (b).

Магнит не нагрели ($\bar{a}$).

Вероятно, магнит не размагнитился $(\bar{b})$.

Разделительные умозаключения

В них одна или несколько посылок являются разделительными суждениями. Они делятся на две группы.

1. *Чисто разделительные*, в которых все посылки являются разделительными суждениями:

Всякий цикл в алгоритме может иметь основной или досрочный выход.

Досрочных выходов может быть один или несколько.

Всякий цикл в алгоритме может иметь основной выход, или один досрочный выход, или несколько досрочных выходов.

Структура:

S есть *A*, или *B*, или *C*.

A есть A_1, или A_2.

S есть A_1, или A_2, или *B*, или *C*.

2. *Разделительно-категорические*, в которых одна посылка — разделительное суждение, а другая — простое категорическое суждение. Есть два модуса:

I модус — *утверждающе-отрицательный* (modus ponendo — tollens).

Дробь может быть правильной или неправильной.

Данная дробь — правильная дробь.

Данная дробь не является неправильной дробью.

Заменив конкретные высказывания в посылках и заключении переменными, получим запись этого модуса (с двумя членами дизъюнкции) в терминах символической логики в виде правила вывода:

$$\frac{a \dot{\vee} b, a}{\bar{b}} \quad \text{или} \quad \frac{a \dot{\vee} b, b}{\bar{a}}.$$

В этом модусе союз «или» употребляется в смысле строгой дизъюнкции. Формулы, соответствующие этому модусу, имеют вид:

1) $(a \dot{\vee} b) \wedge a) \to \bar{b}$;

2) $((a \dot{\vee} b) \wedge b) \to \bar{a}.$

Обе эти формулы выражают законы логики.

Доказательство этого относительно формул 1) и 3) дано в таблице.

a	b	$\bar{b}$	$a \vee b$	$(a \vee b) \wedge \wedge a$	$((a \vee b) \wedge \wedge a) \to \bar{b}$	$a \dot{\vee} b$	$(a \dot{\vee} b) \wedge \wedge a$	$((a \dot{\vee} b) \wedge \wedge a) \to \bar{b}$
и	**и**	**л**	**и**	**и**	**л**	**л**	**л**	**и**
и	**л**	**и**	**и**	**и**	**и**	**и**	**и**	**и**
л	**и**	**л**	**и**	**л**	**и**	**и**	**л**	**и**
л	**л**	**и**	**л**	**л**	**и**	**л**	**л**	**и**

Если в этом модусе союз «или» взят в смысле нестрогой дизъюнкции, то формулы 3) и 4), соответствующие этому модусу, не будут выражать закон логики.

3) $(a \vee b) \wedge a) \to \bar{b}$;

4) $((a \vee b) \wedge b) \to \bar{a}$.

Ошибки происходят из-за смешения в этом модусе соединительно-разделительного и строго разделительного смысла союза «или». Нельзя, например, рассуждать таким образом:

Учащиеся в контрольной работе по математике допускают или вычислительные ошибки, или ошибки в эквивалентных преобразованиях, или ошибки в применении изученных алгебраических правил.

Учащийся Сидоров допустил в контрольной работе вычислительные ошибки.

Сидоров не допустил в работе ни ошибок в эквивалентных преобразованиях, ни ошибок в применении изученных алгебраических правил.

Заключение не является истинным суждением, так как Сидоров мог допустить все три вида ошибок.

II модус — *отрицающе-утверждающий* (modus tollendo ponens).

Отрицающе-утверждающий модус (для случая двучленной разделительной посылки) в виде правила вывода в алгебре логики может быть записан следующим образом:

$$\frac{a \vee b, \bar{a}}{b}; \quad \frac{a \vee b, \bar{b}}{a}; \quad \frac{a \dot{\vee} b, \bar{a}}{b}; \quad \frac{a \dot{\vee} b, \bar{b}}{a}.$$

Логический союз «или» здесь может употребляться в двух смыслах: как строгая дизъюнкция ($\dot{\vee}$) и как нестрогая дизъюнкция ($\vee$), т. е. характер дизъюнкции на необходимость заключения по этому модусу не влияет.

Выводы по этому модусу выражаются четырьмя формулами, которые являются законами логики:

1) $((a \vee b) \wedge \overline{a}) \rightarrow b$; 3) $((a \dot{\vee} b) \wedge \overline{a}) \rightarrow b$;

2) $((a \vee b) \wedge \overline{b}) \rightarrow a$; 4) $((a \dot{\vee} b) \wedge \overline{b}) \rightarrow a$.

Способы решения задач могут быть общими или частными.

Этот способ решения задач — частный.

Этот способ решения задач не является общим.

В разделительной посылке должны предусматриваться все возможные альтернативы (это правило обязательно для второго модуса).

Огромна познавательная роль умозаключений: на них основана система доказательства или опровержения, они играют большую роль в выдвижении и развитии гипотез, в построении научных теорий. Везде, где возникает проблемная ситуация, где необходимо опровергнуть ложное высказывание, где необходимо размышлять, т. е. сопоставлять, анализировать, сравнивать, мы обращаемся к умозаключениям.

Дилеммы

К дедуктивным умозаключениям относятся *дилеммы* — сложный выбор одной из двух нежелательных для человека (или для группы людей) альтернатив по принципу: «из двух зол надо выбрать наименьшее».

Дилеммы бывают *конструктивными* и *деструктивными;* каждая в свою очередь делится на *простую* и *сложную.* Мы рассмотрим лишь конструктивные дилеммы, ибо они в мышлении встречаются часто.

В простой конструктивной дилемме в первой (условной) посылке утверждается, что из двух различных оснований вытекает одно и то же следствие. Во второй посылке (дизъюнктивном суждении) утверждается, что одно или другое из этих оснований истинно. В заключении утверждается следствие. Примером этого вида дилеммы является рассуждение:

Если я ночью поплыву через реку *(a)*, то меня может заметить патруль *(b)*, а если я пойду по мосту *(c)*, то меня тоже может заметить патруль *(b).*

Но я могу плыть через реку *(a)* или идти по мосту (с).

Меня может заметить патруль *(b).*

Схема этого вида дилеммы: $\dfrac{a \to b, c \to b, a \vee c}{b}$;

Формула такая: $((a \to b) \wedge (c \to b) \wedge (a \vee c)) \to b.$

Эта формула является законом логики.

Сложная конструктивная дилемма. Она отличается от простой только тем, что оба следствия ее первой (условной) посылки различны.

Схема: $\dfrac{a \to b, c \to d, a \vee c}{b \vee d}$;

Формула: $((a \to b) \wedge (c \to d) \wedge (a \vee c)) \to (b \vee d)$.

Пример дилеммы, которая встала перед капитаном танкера «Ростов» Александром Котляровым. Танкер «Ростов» взял около десяти тысяч тонн автомобильного бензина и уже готовился в Туапсе к отплытию... Сейчас танкер должен сняться с якоря... Якорь уже вышел из воды... На лапе якоря висит авиабомба, пролежавшая на дне моря двадцать лет. Рядом стояли другие танкеры, тоже залитые бензином и нефтью. Пока придут минеры из Севастополя в Туапсе, бомба может взорваться каждую минуту. Перед капитаном встала дилемма:

Если я оставлю танкер в порту до прибытия минеров, то бомба может взорваться и повредить много судов; если я уведу танкер в море, то в случае взрыва пострадает только один танкер.

Я могу оставить танкер в порту до прибытия минеров или увести в море.

Следовательно, может пострадать много судов в порту или в случае взрыва пострадает только один танкер.

Танкер ушел из порта, и со второй попытки бомбу удалось утопить в море, а танкер не пострадал.

Этот вид дилеммы значительно чаще используют авторы произведений художественной литературы, когда им необходимо подчеркнуть сложность коллизий реальной жизни, неоднозначность морального выбора.

Индуктивное умозаключение. Виды индукции: полная, неполная, математическая

Изучив дедукцию, рассмотрим индуктивные умозаключения (индукцию). В определении индукции в логике выявляются два подхода: 1) в традиционной логике индукцией называют умозаключение от знания меньшей степени общности к новому знанию большей степени общности, когда от отдельных частных случаев мы переходим к общему суждению; 2) в современной математической логике индукцией называют умозаключение, дающее вероятное заключение. Индукция бывает полной и неполной. Кроме того, выделяют еще математическую индукцию.

Следует подчеркнуть, что вопросы определения дедукции и индукции являются дискуссионными: существуют различные точки зрения.

Так, С.А. Лебедев в результате изучения категории «индукция» в истории философии и логики показал, что в процессе развития категории индукции произошло ее разделение на метод и вывод[27]. Так рассматривали индукцию в Древней Греции Аристотель, в XIX в. — английский философ и экономист Дж. Ст. Милль и английский логик, экономист и статистик Ст. Джевонс. Индукция как метод научного познания — сложная содержательная операция, включающая в себя наблюдение, анализ, отбор материала, эксперимент и др. средства. Индукция как вывод относится к классу индуктивных умозаключений.

Позднее индукция как вывод разделилась на формальную индукцию и материальную индукцию. Оба вида индукции обозначают любой вывод, посылки которого имеют менее общий характер, чем заключение. Отличие их в том, что первая не учитывает специфики

[27] См.: *Лебедев С.А.* Основные линии развития классической индукции // Индуктивная логика и формирование научного знания. М.: Наука, 1987.

содержания посылок (обыденное, философское, конкретно-научное и др.), а вторая — учитывает, что имеет существенное значение.

Далее материальная индукция разделилась на научную и ненаучную. Научная индукция в посылках опирается только на существенные связи и отношения, благодаря чему достоверность ее заключений носит необходимый характер (хотя она и является неполной индукцией).

В современной логике термин «индукция» часто употребляют как синоним понятий «недемонстративный вывод», «вероятностный аргумент». Но отождествление понятий «индукция», «индуктивный вывод» с понятиями «вероятностный вывод», «недемонстративный аргумент» ведет к отождествлению гносеологической проблематики индукции и вероятностных выводов.

Однако гносеологическая проблематика индукции значительно шире, чем соответствующая проблематика вероятностных выводов.

Четкая фиксация существенного различия классического и современного понимания индукции важна для правильного решения таких вопросов методологии, как индукция и проблема открытия научных законов, индукция и ее роль в жизни и др. Вот почему для различения двух смыслов индукции С.А. Лебедев предложил классическое понимание обозначить термином «индукция$_1$» (сокращенно И$_1$), а современное — «индукция$_2$» (И$_2$)[28]. Индукция тесно связана с дедукцией.

Полной индукцией называется такое умозаключение, в котором общее заключение о всех элементах класса предметов делается на основании рассмотрения каждого элемента этого класса — это значит, что изучаются все предметы данного класса, а посылками служат либо единичные, либо общие суждения. Например, суждение «Все планеты Солнечной системы вращаются вокруг Солнца по эллиптической орбите» получено посредством полной индукции. Приведем при-

[28] *Лебедев С.А.* Основные линии развития классической индукции // Индуктивная логика и формирование научного знания. С. 108.

мер полной индукции, посылками которой являются общие суждения.

Окружность может пересекаться прямой линией не более чем в двух точках.

Эллипс может пересекаться прямой линией не более чем в двух точках.

Парабола может пересекаться прямой линией не более чем в двух точках.

Гипербола может пересекаться прямой линией не более чем в двух точках.

Окружность, эллипс, парабола, гипербола — конические сечения.

Все конические сечения могут пересекаться прямой линией не более чем в двух точках.

К полной индукции относится доказательство по случаям. Много примеров доказательства по случаям предоставляет математика, в том числе ее школьный курс. Пример доказательства разбором случаев дает теорема: «Объем прямоугольного параллелепипеда равен произведению трех его измерений

$(\vee = a \cdot b \cdot c)$».

При доказательстве этой теоремы рассматриваются особо следующие три случая:

1) измерения выражаются целыми числами;
2) измерения выражаются дробными числами;
3) измерения выражаются иррациональными числами.

Полная индукция дает достоверное заключение, поэтому она часто применяется в математических и в других строгих доказательствах. Чтобы использовать полную индукцию, надо выполнить следующие условия.

1. Точно знать число предметов или явлений, подлежащих рассмотрению.
2. Убедиться, что признак принадлежит каждому элементу этого класса.
3. Число элементов изучаемого класса должно быть невелико.

Неполная индукция

Она применяется тогда, когда мы, не наблюдая все случаи изучаемого явления, заключение делаем для всех. Например, мы наблюдаем электропроводность металлов меди, свинца, железа, золота и делаем заключение, что все металлы электропроводны.

По способам обоснования заключения неполная индукция делится на три вида.

1. Индукция через простое перечисление (популярная индукция). Если один и тот же признак повторяется у ряда однородных предметов и отсутствует противоречащий случай, то делается заключение, что данный признак присущ всем предметам этого рода (например, считали, что все собаки лают, пока не встретили у пигмеев собак, которые не лают). Здесь объекты выбираются случайно, без всякой системы. Эта индукция дает вероятное (недостоверное) заключение. Она применяется в начале построения гипотезы. При использовании этой индукции возникает «ошибка» поспешного обобщения. Например, в случае эпидемии гриппа говорят, что все болеют гриппом. Популярная индукция лежит в основе народных наблюдений (например, «грач на горе — весна на дворе») или «белая радуга зимой — к сильному морозу».

2. Индукция через анализ и отбор фактов. Она исключает случайность обобщения, ибо люди изучают планомерно отобранные, наиболее типичные предметы — разнообразные по времени, способу получения и существования и др. условиям. Так, например, вычисляют среднюю урожайность поля, судят о всхожести семян, о составе полезных ископаемых и т. д. Люди заметили, что пчелиный мед обладает целебными свойствами. Впоследствии научные исследования показали, что в цветочном меде содержится 75—80 % углеводов (глюкоза, фруктоза и др.), органические кислоты, ферменты, минеральные и ароматические вещества, ценные для питания человека. Следовательно, первоначальный вывод оказался правильным. Аналогично вывели заключение о целебных свойствах ряда лекарственных растений. Чтобы повысить степень вероятности выводов с помощью этого вида индукции, необходимо: 1) взять достаточно большое количество исследуемых экземпляров; 2) элементы класса должны быть отобраны планомерно и быть более разнообразными; 3) изучаемый признак должен быть типичным для всех элементов этого класса; 4) данный признак должен быть для них существенным.

3. Научной индукцией называется такое умозаключение, в котором на основании познания необходимых признаков или необходимой связи части предметов класса делается общее заключение о всех предметах класса.

Научная индукция, так же как полная индукция и математическая индукция, дает достоверное заключение. Достоверность (а не вероятностность) заключений научной индукции, хотя она и не охватывает все предметы изучаемого класса, а лишь их часть (и притом небольшую), объясняется тем, что учитывается важнейшая из необходимых связей — причинная связь. Так, с помощью научной индукции делается заключение: «Всем людям для жизнедеятельности необходима влага». В частности, Ю.С. Николаев и Е.И. Нилов в книге «Голодание ради здоровья» пишут, что человек без пищи (при полном голодании) может прожить 30—40 дней, а воду он должен пить ежедневно: без воды человек не может жить, ибо процесс обезвоживания организма ведет к нарушению внутриклеточного обмена веществ, что приводит к смерти. Голодание же, проводимое под наблюдением врачей, наоборот, способствует улучшению состояния при многих заболеваниях (например, хроническом нефрите, гипертонической болезни, стенокардии, атеросклерозе, бронхиальной астме, шизофрении, общем ожирении).

Причиной является мобилизация организма во время лечебного голода. Обычное переедание, которое ежедневно задает огромную, совершенно ненужную, работу желудку и сердцу, — одна из причин многих болезней, раннего одряхления и сокращения срока жизни.

Применение научной индукции позволило сформулировать общие суждения и научные законы (физические законы Архимеда, Кеплера, Ома и др.). Так, закон Архимеда описывает свойство всякой жидкости оказывать давление снизу вверх на погруженное в нее тело.

С применением научной индукции получены и законы развития общества.

Научная индукция опирается не столько на большое число исследованных фактов, сколько на всесторонность их анализа и установление причинной зависимости, выделение необходимых признаков или необходимых связей предметов и явлений. Поэтому научная индукция и дает достовернее заключение.

Математическая индукция

Она используется в математике и основана на следующей аксиоме (принципе). Пусть: 1) свойство *A* имеет место при $n=1$; из предположения о том, что свойством А обладает какое-либо натуральное число n, следует, что этим свойством А обладает и число $n+1$. Тогда делаем заключение, что свойством А обладает любое натуральное число. Методом математической индукции доказывается, что сумма n первых натуральных чисел, обозначенная S(n), равна

$$\frac{n\cdot(n+1)}{2},$$

т. е. $S(n) = 1+2+3+4+5+\ldots + n = \dfrac{n\cdot(n+1)}{2}$.

Математическая индукция используется при выведении ряда формул: арифметической и геометрической прогрессий, бинома Ньютона и др.

Как отмечает Г.И. Рузавин: «...Нам кажется вполне правомерным рассматривать такие формы индуктивных рассуждений, как полная и математическая индукция, именно в разделе об индуктивных рассуждениях, хотя заключения, основанные на них, являются достоверно истинными»[29].

Аналогичные идеи развивает А.И. Уемов. В его книге «Основы практической логики с задачами и упражнениями» в части IV «Индуктивная логика» § 3 назван «Достоверная индукция». Туда он относит полную индукцию. «Другой случай достоверной индукции, — пишет А.И. Уемов, — математическая индукция»[30].

---

[29] *Рузавин Г.И.* Логика и аргументация. М., 1997. С. 186.

[30] *Уемов А.И.* Основы практической логики. Одесса, 1997. С. 253—254.

Аналогия

Умозаключение по аналогии и его виды

Термин «аналогия» означает сходство двух предметов (или двух групп предметов) в каких-либо свойствах или отношениях. Например, Земля (модель) и Марс (прототип) сходны в том отношении, что они вращаются вокруг Солнца и вокруг своей оси и потому имеют смену времен года, смену дня и ночи. По аналогии умозаключаем, что, возможно, и на Марсе есть жизнь. Посредством аналогии осуществляется перенос информации — с одного предмета (модели) на другой (прототип). Посылки относятся к модели, заключение — к прототипу.

Схема аналогии свойств в традиционной логике такова:

Предмет A обладает свойствами a, b, c. d, e, f.
Предмет B обладает свойствами a, b, c, d.

Вероятно, предмет B обладает свойствами e, f.

Аналогия — умозаключение о принадлежности предмету определенного признака (т. е. свойства или отношения) на основе сходства в признаках с другим предметом.

В зависимости от характера информации, переносимой с модели на прототип, аналогия делится на два вида: аналогия свойств и аналогия отношений. В *аналогии свойств* рассматриваются два единичных предмета или два множества однородных предметов (два класса), а переносимыми признаками являются свойства этих предметов (аналогия между Марсом и Землей, аналогия в симптомах протекания болезни у двух людей и др.). Проиллюстрируем аналогию свойств на примере. В одном и том же городе N были зафиксированы три случая хищения радиодеталей из магазинов, совершенных путем пролома в потолке, через который преступники проникли в помещение магазина. На основании умозаключения путем аналогии у расследующих преступление возникла версия, что это были одни и те же преступники. Аналогия просматривалась в трех случаях: 1) в характере совершенного преступления (кража); 2) в однотипности украденных предметов (радиодетали); 3) в пути проникновения в магазин (пролом в потолке). Версия подтвердилась. Преступники были задержаны.

В *аналогии отношений* информация, переносимая с модели на прототип, характеризует отношения между двумя предметами или двумя классами однородных предметов. Имеем отношение (aRb) и отношение (mR_1n). Аналогичными являются отношения R и R_1, но a не аналогично m, а b — n. На уроке физики учитель расскажет о том, что примером аналогии отношений является предложенная Резерфордом «планетарная» модель строения атома, которую он построил на основании аналогии отношения между Солнцем и планетами, с одной стороны, и ядром атома и электронами, которые удерживаются на своих орбитах силами притяжения ядра, — с другой. Здесь R — взаимодействие противоположно направленных сил — сил притяжения и отталкивания — между планетами и Солнцем, а R_1, — взаимодействие противоположно направленных сил — сил притяжения и отталкивания — между ядром атома и электронами, но планеты не аналогичны электронам, а Солнце не аналогично ядру атома.

На основе аналогии отношений бионика занимается изучением объектов и процессов живой природы с целью использования полученных знаний в новейшей технике. Приведем ряд примеров. Летучая мышь при полете испускает ультразвуковые колебания, затем улавливает их отражения от предметов, безошибочно ориентируясь в темноте: обходит ненужные ей предметы, чтобы не натолкнуться на них в полете, находит нужные ей предметы, например, насекомых или место, где она хочет сесть, и т. д. Человек, используя этот принцип, создал радиолокаторы, обнаруживающие объекты и определяющие их местоположение в любых метеорологических условиях. Построены машины-снегоходы, принцип передвижения которых заимствован у пингвинов. Используя аналогию восприятия медузой инфразвука с частотой 8—13 колебаний в секунду (что позволяет медузе заранее распознавать приближение бури по штормовым инфразвукам), ученые создали электронный аппарат, предсказывающий за 15 часов наступление шторма. Изучено значительное количество биологических объектов, представляющих большой технический интерес. Например, гремучие змеи обладают термолокаторами, обеспечивающими измерение температуры с точностью до 0,001°С.

Кроме деления аналогий на эти два вида — свойств и отношений — умозаключения по аналогии по характеру выводного знания (по степени достоверности заключения) можно разделить на три вида:

1) строгая аналогия, которая дает достоверное заключение;

2) нестрогая аналогия, дающая вероятное заключение;

3) ложная аналогия, дающая ложное заключение.

Строгая аналогия

Характерным отличительным признаком строгой аналогии является наличие необходимой связи между сходными признаками и переносимым признаком.

Схема строгой аналогии такая:

Предмет А обладает признаками a, b, c, d, e.

Предмет В обладает признаками a, b, c, d.

Из совокупности признаков a, b, c, d необходимо следует e.

Предмет В обязательно обладает признаком e.

Строгая аналогия применяется в научных исследованиях, в математических доказательствах. Например, формулировка признаков подобия треугольников основана на строгой аналогии: «Если три угла одного треугольника равны трем углам другого треугольника, то эти треугольники подобны» (подобие — вид аналогии).

На строгой аналогии основан метод моделирования. Известно, что единство природы обнаруживается в «поразительной аналогичности» дифференциальных уравнений, относящихся к разным областям явлений. В физике эти аналогичные явления весьма часты. Например, аналогичными уравнениями описываются корпускулярно-волновые свойства света и аналогичные свойства электронов. Закон Кулона, определяющий силу электростатического взаимодействия двух неподвижных друг относительно друга точечных зарядов q_1 и q_2, расстояние между которыми r, выражается формулой:

$$F = \mathrm{k} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}.$$

Аналогичной формулой выражен закон всемирного тяготения Ньютона:

$$F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}.$$

Здесь мы видим строгую аналогию, в которой переносимыми признаками являются не свойства, а отношения между разными объектами (электрическими зарядами и массами вещества), выраженные аналогичной структурой формул.

Строгая аналогия дает достоверный вывод, т. е. истину, обозначаемую в многозначных логиках, в классической логике, в теории вероятностей через 1. Вероятность вывода по строгой аналогии равна 1.

Нестрогая аналогия

В отличие от строгой аналогии нестрогая аналогия дает не достоверное, а лишь вероятное заключение. Если ложное суждение обозначить через 0, а истину через 1, то степень вероятности выводов по нестрогой аналогии лежит в интервале от 1 до 0, т. е. $1 > P(a) > 0$, где $P(a)$ — вероятность заключения по нестрогой аналогии.

Примерами нестрогой аналогии являются, в частности, следующие: испытание модели корабля в бассейне и заключение, что настоящий корабль будет обладать теми же параметрами, испытание прочности моста на модели, затем построение настоящего моста. Если строго выполнены все правила построения и испытания модели, то этот способ умозаключения может приближаться к строгой аналогии и давать достоверное заключение, однако чаще заключение бывает вероятным. Разница в масштабах между моделью и прототипом (самим сооружением) иногда бывает не только количественной, но и качественной. Не всегда также можно учесть различие между лабораторными условиями (испытания) модели и естественными условиями работы самого сооружения, поэтому возникают ошибки.

Примеры таких аналогий многочисленны. Возрождение старых идей при создании новой техники — сейчас закономерный процесс. В настоящее время, например, парусные корабли и дирижабли снова выходят на сцену, но они связаны с прошлой техникой лишь по отдаленной аналогии, так как создаются теперь по последним техническим достижениям и оснащены современным оборудованием и ЭВМ.

Человек в целях управления часто использует аналоговые машины. На корабле, чтобы в шторм максимально снять действие бортовой качки, устанавливаются специальные ласты, движением которых управляет аналоговая машина. Решая дифференциальное уравнение движения волн, она как бы заранее «предвидит» набегающую волну и с помощью ласт корректирует положение корабля. Аналоговые машины успешно применяются и для управления полетом самолета, в том числе при посадке, выполняя функции пилота при густом тумане над аэродромом.

В математических доказательствах используется только строгая аналогия, а при решении задач (арифметических, геометрических и др.) применяется либо алгоритм, либо нестрогая аналогия с уже решенными однотипными задачами. Значительное число интересных примеров использования аналогий в математике содержится в книге Д. Пойа «Математика и правдоподобные рассуждения».

Аналогия в математике используется и тогда, когда, пытаясь решить предложенную задачу, мы начинаем с другой, более простой. Например, при решении задачи из стереометрии мы находим подобную задачу в планиметрии; в частности, решая задачу о диагонали прямоугольного параллелепипеда, мы обращаемся к задаче о диагонали прямоугольника. В геометрии имеется аналогия между кругом и шаром. Существуют две аналогичные теоремы: «Из всех плоских фигур равной площади наименьший периметр имеет круг» и «Из всех тел равного объема наименьшую поверхность имеет шар». Д. Пойа пишет: «...Сама природа расположена в пользу шара. Дождевые капли, мыльные пузыри. Солнце, Луна, наша Земля, планеты шарообразны или почти шарообразны»[31].

Д. Пойа приводит забавную аналогию из области биологии: когда в холодную ночь кот приготовляется ко сну, он поджимает лапы, свертывается и таким образом делает свое тело насколько возможно шарообразным, очевидно, для того, чтобы сохранить тепло, сделать минимальным его выделение через поверхность своего тела. «Кот, — продолжает Д. Пойа, — не имеющий ни малейшего намерения уменьшить свой объем, пытается уменьшить свою поверхность. Он решает задачу о теле с данным объемом и наименьшей поверхностью, делая себя возможно более шарообразным»[32].

Эту аналогию можно использовать как на уроках математики, так и на уроках биологии.

Для повышения степени вероятности выводов по нестрогой аналогии следует выполнить ряд условий:

1) число общих признаков должно быть возможно большим;

2) необходимо учитывать степень существенности сходных признаков, т. е. сходные признаки должны быть существенными. Аналогия на основе сходства несущественных признаков типична для ненаучного и детского мышления. Дети могут съесть ядовитые ягоды на основе их внешнего сходства со съедобными. Но иногда и на основе чисто внешнего признака можно сделать открытие, как это было в случае открытия алмазов в Якутии;

3) общие признаки должны быть по возможности более разнородными;

4) необходимо учитывать количество и существенность пунктов различия. Если предметы различаются в существенных признаках, то заключение по аналогии может оказаться ложным;

5) переносимый признак должен быть того же типа, что и сходные признаки.

---

[31] *Пойа Д.* Математика и правдоподобные рассуждения. М., 1975. С. 187.

[32] Там же.

Ложная аналогия

При нарушении указанных выше правил аналогия может дать ложное заключение, т. е. стать ложной. Вероятность заключения по ложной аналогии равна 0. Ложные аналогии иногда делаются умышленно, с целью запутывания противника, т. е. являются софистическим приемом, или делаются неумышленно, в результате незнания правил построения аналогий или отсутствия фактических знаний относительно предметов А и В и их свойств, на основании которых осуществляется аналогия. И.П. Павлов пишет о ложной аналогии доктора А.Т. Снарского, являвшегося его сотрудником: «В то время как Вульфсон собрал новый, придавший большую важность предмету материал относительно подробностей психического возбуждения слюнных желез, Снарский предпринял анализ внутреннего механизма этого возбуждения, стоя на субъективной точке зрения, т. е. считаясь с воображаемым, по аналогии с нами самими, внутренним миром собак (опыты наши делались на них), с их мыслями, чувствами и желаниями. При этом-то и произошел небывалый в лаборатории случай. Мы резко разошлись друг с другом в толковании этого мира... Д-р Снарский остался при субъективном истолковании явлений, я же, пораженный фантастичностью и научной бесплодностью такого отношения к поставленной задаче, стал искать другого выхода из трудного положения». Далее И.П. Павлов отмечает: «В самом деле, трудно же, неестественно было бы думать и говорить о мыслях и желаниях какой-нибудь амебы или инфузории»[33]. Известно, что сознание человека качественно отличается от психики животных. В результате игнорирования или непонимания этого коренного различия Снарский и пришел к ложной аналогии и ложному заключению, которые И.П. Павлов характеризовал как «фантастичность и научная бесплодность».

В философии подобную ошибку делали в XIX в. «вульгарные» материалисты Л. Бюхнер, К. Фогт и

[33] *Павлов И.П.* Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности (поведения) животных. Условные рефлексы // Жизнь науки. М., 1973. С. 386.

Я. Молешотт, которые, проведя аналогию между печенью и мозгом, заключили, что мозг выделяет мысль так же, как печень выделяет желчь.

Примером ложной аналогии является организмическая аналогия Г.Спенсера, который выделял в обществе различные административные органы и приписывал им функции, аналогичные тем, которые возникают при разделении функций между органами живого тела.

На ложных аналогиях основаны и суеверия. Например, считается, что разбитое зеркало — к несчастью, что если перед охотой проткнуть чучело зверя, то будет удача на охоте, т. е. удастся убить животное.

Доказательство

Тему «Доказательство» мы не будем излагать подробно, так как она весьма подробно и обстоятельно изложена во всех учебниках по логике, математике и метаматематике, в том числе в некоторых главах моих учебников по логике[34].

Доказательство — совокупность логических приемов обоснования истинности тезиса.

Тезис — суждение, истинность которого надо доказать.

Аргументы — истинные суждения, используемые при доказательстве тезиса.

Демонстрацией, или формой доказательства, называется способ логической связи между тезисом и аргументами.

В качестве аргументов могут использоваться:

1. *Удостоверенные единичные факты* (так называемый фактический материал): статистические данные,

---

[34] См., например: *Рузавин Г.И.* Логика и аргументация. М., 1997; *Поварнин С.И.* Спор. О теории и практике спора. СПб., 1996; *Брутян Г.А.* Аргументация. Ереван, 1984; *Гетманова А.Д.* Логика. М., 2005; *Ивлев Ю.В.* Логика. М., 2005.

См.: *Клини С.* Математическая логика (гл. I и II). М., 1973; *Ершов Ю.А., Палютин Е.А.* Математическая логика (гл. 6. Теория доказательств). М., 1979 и др.

свидетельские показания, подписи на документах, научные данные, научные факты. *И.П. Павлов* писал: «Факты — воздух ученого, без них вы никогда не сможете взлететь. Без них ваши "теории" — пустые потуги».

2. *Определения как аргументы доказательства.*

3. *Аксиомы* (в математике, механике, в математической логике и др. науках).

4. *Ранее доказанные законы науки и теоремы* (математика).

Из жизни науки хорошо известно, что нахождение тезисов и аргументов в различных текстах представляет большие трудности, но этому специфическому искусству можно и нужно учиться. Логика и является теоретическим и практическим компендиумом такого искусства, которым должен хорошо владеть каждый современный ученый. Основу такого искусства безусловно составляет знание законов логики, принципов правильного мышления.

Глава 3

ЗАКОНЫ (ПРИНЦИПЫ) ПРАВИЛЬНОГО МЫШЛЕНИЯ

Основные характеристики правильного мышления: определенность, последовательность, непротиворечивость и доказательность

Закон мышления — это необходимая, существенная, устойчивая связь между мыслями. Наиболее простые и необходимые связи между мыслями выражаются формально-логическими законами *тождества, непротиворечия, исключенного третьего, достаточного основания.* Эти законы в логике играют особо важную роль, являются наиболее общими, лежат в основе различных логических операций с понятиями, суждениями и используются в ходе умозаключений и доказательств. Первые три закона были выявлены и сформулированы Аристотелем. Закон достаточного основания сформулирован Лейбницем. Законы логики являются отражением в сознании человека определенных отношений между предметами объективного мира.

Формально-логические законы не могут быть отменены или заменены другими. Они имеют общечеловеческий характер: они едины для всех людей различных рас, наций, классов, профессий. Эти законы сложились в результате многовековой практики человеческого познания при отражении таких обычных свойств вещей, как их устойчивость, определенность, несовместимость в одном и том же предмете одновременно наличия и отсутствия одних и тех же признаков. *Законы логики — это законы правильного мышления, а не законы самих вещей и явлений мира.*

Кроме этих четырех формально-логических законов, обеспечивающих основные характеристики правильного мышления, — *определенность, последовательность, непротиворечивость, доказательность*, выбор «или — или» в определенных «жестких» ситуациях, — существует много других формально-логических законов, которым должно подчиняться правильное мышление в процессе оперирования отдельными формами мышления (понятиями, суждениями, умозаключениями).

Законы логики выступают в мышлении в качестве *принципов правильного рассуждения* в ходе доказательства истинных суждений и теорий и опровержения ложных суждений.

В математической логике несколько иной подход. Там законы, выраженные в виде формул, выступают как тождественно-истинные высказывания. Это означает, что формулы, в которых выражены логические законы, истинны при любых значениях их переменных. Среди тождественно-истинных формул особо выделяются такие, которые содержат одну переменную. Формулы этих законов, где под a понимаются высказывания (суждения), такие:

$a \equiv a$ — закон тождества;

$\overline{a \wedge \bar{a}}$ — закон непротиворечия;

$a \vee \bar{a}$ — закон исключенного третьего.

Г.И. Рузавин пишет: «...Все общезначимые (или тождественно-истинные) формулы логики могут рассматриваться как законы логики, поскольку они обеспечивают получение правильных заключений. Однако с исторической и методологической точек зрения представляется целесообразным выделить законы, сформулированные Аристотелем, как основные, во-первых, потому, что с их помощью можно объяснить специальные правила логики, во-вторых, в связи с тем, что по установившейся исторической традиции они фигурируют именно как основные и, в-третьих, потому, что они с успехом применяются как в повседневных, так и во многих научных рассуждениях»[35].

[35] *Рузавин Г.И.* Логика и аргументация. М., 1997. С. 221 – 222.

Закон тождества

Этот закон формулируется так: *«В процессе определенного рассуждения всякое понятие и суждение должны быть тождественны самим себе».*

В математической логике закон тождества выражается следующими формулами:

$a \equiv a$ (в логике высказываний);

$A \equiv A$ (в логике классов, в которой классы отождествляются с объемами понятий).

Тождество есть равенство, сходство предметов в каком-либо отношении. Например, все жидкости тождественны в том, что они теплопроводны, упруги. Каждый предмет тождествен самому себе.

Но реально тождество существует в связи с различием. Нет и не может быть двух абсолютно тождественных вещей (например, двух листочков дерева, близнецов, двух преступлений, двух сделок и т. д.). Вещь вчера и сегодня и тождественна, и различна. Например, внешность человека изменяется с течением времени, но мы его узнаем и считаем одним и тем же человеком. Абстрактного, абсолютного тождества в действительности не существует, но в определенных границах мы можем отвлечься от существующих различий и фиксировать свое внимание на одном только тождестве предметов или их свойств.

В мышлении закон тождества выступает в качестве нормативного правила (принципа). Он означает, что нельзя в процессе рассуждения подменять одну мысль другой, одно понятие — другим. Нельзя тождественные мысли выдавать за различные, а различные — за тождественные.

Например, тождественными по объему будут три таких понятия: «ученый, по инициативе которого был основан Московский университет»; «ученый, сформулировавший принцип сохранения материи и движения»; «ученый, ставший с 1745 г. первым русским академиком Петербургской академии», — все они обозначают одного и того же человека (*М.В. Ломоносова),* но дают различную информацию о нем.

Нарушение закона тождества приводит к двусмысленностям, что можно видеть, например, в следующих рассуждениях: «Ноздрев был в некотором отношении *исторический* человек. Ни на одном собрании, где он был, не обходилось без истории» (*Н.В. Гоголь*). Игра слов здесь построена на употреблении омонимов.

В мышлении нарушение закона тождества проявляется тогда, когда человек выступает не по обсуждаемой теме, произвольно подменяет один предмет обсуждения другим, употребляет термины и понятия в другом смысле, чем принято, не предупреждая об этом. Например, идеалистом иногда считают человека, верящего в идеалы, живущего ради высокой цели, а материалистом — человека меркантильного, стремящегося к наживе, к личному обогащению и т. д.

На дискуссиях иногда спор по существу подменяют спором о словах. Иногда люди говорят о разных вещах, думая, что они имеют в виду одно и то же. Часто логическая ошибка наблюдается, когда люди употребляют *слова-омонимы*, т. е. слова, имеющие несколько значений, например «следствие», «материя», «содержание» и др. Возьмем, к примеру, высказывание: «Ученики *прослушали* разъяснения учителя». Здесь неясно, слушали ли они внимательно учителя или, наоборот, пропустили его разъяснения. Или: «Из-за рассеянности шахматист не раз на турнирах терял *очки».* Здесь неизвестно, о каких очках идет речь. Иногда ошибка возникает при использовании личных местоимений: она, оно, мы и др., когда приходится уточнять: «Кто — он?» или «Кто — она?» В результате отождествления различных понятий возникает логическая ошибка, называемая *подменой понятия.*

Из-за нарушения закона тождества возникает и другая ошибка, называемая *подменой тезиса.* В ходе доказательства или опровержения выдвинутый тезис часто умышленно или неосознанно подменяется другим. В научных и иных дискуссиях это проявляется в приписывании оппоненту того, чего он не говорил. Такие приемы ведения дискуссий недопустимы.

Закон тождества используется в науке, искусстве, в программах для работы на ЭВМ, в школьном преподавании, в повседневной жизни.

Отождествление (или идентификация) широко используется в следственной практике, например, при опознании предметов, людей, сличении почерков, документов, подписей, отпечатков пальцев.

На использовании закона тождества основаны следующие действия: опознание места преступления или происшествия, оружия, использованного преступником, установление подлинности денежных купюр, документов (паспортов, воинских удостоверений, студенческих билетов и др.).

На нарушении закона тождества основаны ложное алиби, ложные или ошибочные показания свидетелей или подсудимого в суде, указание на ложный след, ложное описание внешности преступника, ошибки свидетелей при составлении фоторобота личности преступника и др.

В математике закон тождества имеет важное значение.

Такие понятия, как «один», «два», «три» и т. д., связаны с умением различать и отождествлять вещи, а это умение и исторически, и логически предшествует умению их считать. Закон тождества *«а* есть *а» (а* тождественно *а)* испокон веков относился людьми к логике.

В действительности абсолютного тождества в изменяющихся предметах нет. Но для того чтобы отобразить движение в мысли, мы должны прибегнуть к идеализации и упрощению действительности.

В науках существуют различные виды и модификации тождества. Так, например, в математике это равенство, эквивалентность (равномощность, равночисленность) множеств, конгруэнтность, тождественное преобразование, тождественная подстановка и т. д.; в теории алгоритмов — одинаковость букв, устанавливаемая путем абстракции отождествления, равенство алфавитов $(A = B)$, равенство конкретных слов и т. д.

Равенства обладают свойствами рефлексивности $(a=a)$, симметричности (если $a = b$, то $b = a$) и транзитивности (если $a = b$ и $b = c$, то $a = c$). К равенствам применимо правило замены равного равным.

Различие также имеет свои виды и модификации: неравенство, неэквивалентность (неравномощность) множеств и т. д.; в теории алгоритмов — различие букв, неравенство конкретных слов (например, пустого и непустого слова) и др.

Применение закона тождества в математике

I. Равносильные уравнения

Равносильными называются уравнения, у которых одни и те же корни. Уравнения, которые не имеют корней, тоже считаются равносильными. Чтобы получить новое уравнение, равносильное данному, можно:

1) к левой и правой частям уравнения прибавить одно и то же число;

2) из обеих частей уравнения вычесть одно и то же число;

3) обе части уравнения умножить на одно и то же не равное нулю число;

4) обе части уравнения разделить на одно и то же не равное нулю число.

II. Тождества

Два выражения называются тождественно равными, если соответственные значения их равны при любых значениях переменных.

Замена выражения тождественно равным ему выражением называется тождественным преобразованием.

Тождеством называется равенство, верное при любых значениях входящих в него переменных.

Тождество, как и уравнение, — это равенство, содержащее переменную (букву). Но если уравнение подразумевает вопрос, при каких значениях переменной имеет место равенство, то тождество подразумевает утверждение: равенство имеет место при любом значении переменной.

Одно и то же равенство может рассматриваться и как тождество, и как уравнение.

Пример.

Формулы сокращенного умножения:

1. $a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$.

$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$.

$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$.

$a^3 + b^3 = (a + b)(a^2 - ab + b^2)$.

$a^3 - b^3 = (a - b)(a^2 + ab + b^2)$.

Разность квадратов двух выражений и произведение разности этих выражений на их сумму тождественно равны.

2. Умножение многочлена на одночлен.

$(a + b + \ldots + \ldots)m = am + bm + m + \ldots$

III. Равносильные системы

Решение системы двух уравнений с двумя неизвестными способом подстановки.

Новая система, у которой одно уравнение первоначальное, а второе получено подстановкой в это уравнение неизвестного, выраженного через другое неизвестное, будет равносильна исходной системе, т. е. имеет те же решения, что и первоначальная.

Закон непротиворечия

Если предмет *А* обладает определенным свойством, то в суждениях об *А* люди должны утверждать это свойство, а не отрицать его. Если же человек, утверждая что-либо, отрицает то же самое или утверждает нечто несовместимое с первым, налицо логическое противоречие. Формально-логические противоречия — это противоречия путаного, неправильного рассуждения. Такие противоречия затрудняют познание мира.

Древнегреческий философ и ученый Аристотель считал «самым достоверным из всех начал» следующее: «...Невозможно, чтобы одно и то же в одно и то же время было и не было присуще одному и тому же в одном и том же отношении»[36]. Эта формулировка указывает на необходимость для человека не допускать в своем мышлении и речи формально-противоречивых высказываний, в противном случае его мышление будет неправильным.

Мысль противоречива, если мы об одном и том же предмете в одно и то же время и в одном и том же

[36] *Аристотель.* Метафизика. Соч.: В 4 т. М., 1976. Т. 1. С. 125.

отношении нечто утверждаем и то же самое отрицаем. Например: «Кама — приток Волги» и «Кама не является притоком Волги»; «Ф.М. Достоевский — автор романа “Преступление и наказание"» и «Ф.М. Достоевский не является автором романа “Преступление и наказание"».

Противоречия не будет, если мы говорим о разных предметах или об одном и том же предмете, взятом в разное время или в разном отношении. Противоречия не будет, если мы скажем: «Осенью дождь полезен для грибов» и «Осенью дождь не полезен для уборки урожая»; суждения «Этот букет роз свежий» и «Этот букет роз не является свежим»; «Программа для решения данной задачи на ЭВМ не отлажена» и «Программа эта отлажена».

Не могут быть одновременно истинными следующие четыре типа простых суждений.

1. «Данное *S* есть *P*» и «Данное *S* не есть *P*» *(единичные суждения).*

2. «Ни одно *S* не есть *P*» и «Все *S* есть *P*» *(суждения E и A).*

3. «Все *S* есть *P*» и «Некоторые *S* не есть *P*» *(суждения A и O).*

4. «Ни одно *S* не есть *P*» и «Некоторые *S* есть *P*» *(суждения E и J).*

При этом вторая пара суждений такова, что оба суждения могут быть ложными, например: «Ни один студент не является спортсменом» и «Все студенты являются спортсменами».

Чаще всего встречается определение формально-логического противоречия как конъюнкции суждения и его отрицания (*a* и *не-a*). Но логическое противоречие может быть выражено и без отрицания: оно имеет место между несовместимыми и утвердительными суждениями[37].

[37] Следует различать два аспекта: отношение противоречия между высказываниями (или суждениями) и противоречие как синоним тождественно-ложной формулы. Если два суждения (*a* и *b*) или несколько суждений не могут быть истинными одновременно, то эти суждения называются несовместимыми и / или противоречащими.

Закон непротиворечия не действует в логике «размытых» *(fuzzy)* множеств, ибо в ней к «размытым» множествам и «размытым» алгоритмам можно одновременно применять утверждение и отрицание (например: «Этот мужчина пожилой» и «Этот мужчина еще не пожилой», ибо понятие «пожилой мужчина» является «нечетким» понятием, не имеющим четко очерченного объема).

Таким образом, в традиционной формальной логике противоречием считается утверждение двух противоположных (как контрарных, так и контрадикторных) суждений об одном и том же предмете, взятом в одно и то же время и в одном и том же отношении. В исчислении высказываний классической двузначной логики закон непротиворечия записывается следующей формулой: $\overline{a \wedge \bar{a}}$.

Закон непротиворечия читается так: *«Два противоположных суждения не могут быть истинными в одно и то же время и в одном и том же отношении».*

Если в мышлении (и речи) человека обнаружено формально-логическое противоречие, то такое мышление считается неправильным, а суждение, из которого вытекает противоречие, отрицается и считается ложным. Поэтому в полемике при опровержении мнения оппонента широко используется метод «приведения к абсурду».

Диалектические противоречия процесса познания иногда выражаются в форме (структуре) формально-логических противоречий, например: опровержение гипотезы путем опровержения (фальсификации) следствий, противоречащих опытным фактам или ранее известным законам; выступления докладчика и оппонента, обвинителя и защитника; взгляды людей, придерживающихся конкурирующих гипотез; мышление врача (или врачей при консилиуме), получившего клинические анализы, несовместимые с ранее поставленным диагнозом болезни. Во всех этих и подобных им ситуациях фиксируется несовместимость суждения *а* и *не-а*, например, несовместимость какого-либо суждения *а* из прежней теории и суждения *не-а*, выражающего мысль о новом полученном опытном факте, т. е. фиксируется мысль, что суждения *а* и *не-а* не могут быть оба истинными, и поэтому их конъюнкция ложна. Отсюда (по законам классической двузначной логики) делается вывод, что требуется дальнейшее исследование, анализ.

Закон исключенного третьего

В книге «Метафизика» Аристотель сформулировал закон исключенного третьего так: «Равным образом не может быть ничего промежуточного между двумя членами противоречия, а относительно чего-то одного необходимо что бы то ни было одно либо утверждать, либо отрицать»[38].

Онтологическим аналогом этого закона является то, что в предмете указанный признак присутствует или его нет, поэтому и в мышлении мы отражаем это обстоятельство в виде закона исключенного третьего.

В двузначной традиционной логике закон исключенного третьего формулируется так: *«Из двух противоречащих суждений одно истинно, другое ложно, а третьего не дано».* Противоречащими называются такие два суждения, в одном из которых что-либо утверждается о предмете, а в другом то же самое об этом же предмете отрицается, поэтому они не могут быть оба одновременно истинными и оба ложными; одно из них истинно, а другое обязательно ложно. Такие суждения называются *отрицающими* друг друга. Если одно из противоречащих суждений обозначить переменной *а,* то другое следует обозначать *в.*

«А. Тьюринг — автор работы “Может ли машина мыслить?"» и «А. Тьюринг не является автором работы “Может ли машина мыслить?"» — первое истинно, второе ложно и третьего — промежуточного — суждения не может быть.

Отрицающими (противоречащими) являются следующие пары суждений.

1) «Это *S* есть *P*» и «Это не есть *P*» (единичные суждения).

[38] *Аристотель.* Метафизика. Т. 1. С. 141.

2) «Все *S* есть *P*» и «Некоторые *S* не есть *P*» (суждения *A* и *O*).

3) «Ни одно *S* не есть *P*» и «Некоторые *S* есть *P*» (суждения *E* и *I*).

В отношении противоречащих суждений *(A* и *O*, *E* и *I*) действует как закон исключенного третьего, так и закон непротиворечия — в этом одно из сходств данных законов.

В мышлении закон исключенного третьего предполагает четкий выбор одной из двух взаимоисключающих альтернатив. Для корректного ведения дискуссии выполнение этого требования обязательно.

Этот закон можно проиллюстрировать следующими математическими примерами. Возьмем суждения *A* — *O*:

«Все трапеции — четырехугольники» и «Некоторые трапеции не являются четырехугольниками».

Суждения *E* — *I*:

«Ни один ромб не является пятиугольником» и «Некоторые ромбы являются пятиугольниками». В этих парах суждений одно суждение истинно, другое обязательно ложно, а третьего суждения не дано.

Специфика действия закона исключенного третьего при наличии «неопределенности» в познании

Как уже отмечалось, объективными предпосылками действия в мышлении закона непротиворечия и исключенного третьего являются наличие в природе, обществе (и самом мышлении) устойчивых состояний у предметов (относительного покоя), постоянство и определенность свойств и отношений между предметами. Поэтому мы в мышлении отображаем предмет таким образом, что присущность ему того или иного свойства можем утверждать, а не отрицать, если предмет обладает этим свойством, но не то и другое вместе; и, кроме того, мы мыслим так, что предмет обладает или не обладает свойством *B*, третьего не дано.

Но в природе и в обществе происходит изменение, переход предметов и их свойств в свою противоположность, поэтому нередки «переходные» состояния, «переходные» ситуации. Неопределенность в самом познании (и в одной из его форм (ступеней) — абстрактном мышлении) возникает, во-первых, в результате отражения «переходных» состояний самих предметов действительности и, во-вторых, в результате неполноты, неточности (на каком-то этапе познания) или не вполне адекватного отражения объекта познания в ходе его изучения.

Двузначная логика имеет дело с жесткой ситуацией, где суждение может быть либо истинным, либо ложным, и каждое суждение может иметь только одно из этих истинностных значений.

В мышлении закон исключенного третьего предполагает четкий выбор одной из двух взаимоисключающих альтернатив («да» или «нет»). С другой стороны, действие этого закона ограничено наличием «неопределенности» в познании. Ведь в природе, обществе и самом мышлении имеются как относительно устойчивые состояния (относительный покой), так и переходные состояния и ситуации, т. е. изменения, переход предметов и их отдельных свойств в свою противоположность (например, новая автомашина превращается в старую, модная одежда устаревает и становится немодной и др.). Поэтому и в самом процессе *познания,* отражающем эти «переходные» состояния объективных предметов и процессов природы и общества, часто возникает неопределенность. Кроме того, отражение объективного мира на определенном этапе познания всегда неполно, неточно, так как соответствует лишь этому этапу знаний человека о мире. Например, о единичных будущих событиях (в их число входят и возможные катастрофы) очень часто мы не можем заранее сказать, какое суждение будет истинным: «Завтра я обязательно выиграю на спортивной арене этот турнир по теннису» или «Завтра я ни за что не выиграю на спортивной арене этот турнир по теннису». Ни одно из этих двух противоречащих суждений не имеет определенного истинностного значения до момента окончания действия.

Закон исключенного третьего не действует тогда, когда вводится третье значение истинности суждений (высказываний) — «неопределенно» (например, в социологических анкетах предлагаются ответы: «да», «нет» и «не знаю»; при голосовании предусматриваются следующие позиции: «за», «против» и «воздержался»). В такого рода ситуациях мы попадаем в сферу действия трехзначной логики. В неклассических *многозначных логиках* закон исключенного третьего, т. е. формула $a \vee \bar{a}$, не является тавтологией (или выводимой формулой).

Следует отметить, что закон исключенного третьего не всегда действует и в *классической математике*, т. е. формула не подходит для некоторых математических понятий. Например, многие функции не являются ни четными, ни нечетными.

Следует отметить, что в конструктивной математике и логике закон исключенного третьего, т. е. формула $a \vee \bar{a}$, отвергается, т. е. не считается законом логики. Это связано с тем, что нет алгоритма проверки, какое из суждений истинно, а какое ложно, т. е. a или $\bar{a}$ для бесконечных множеств.

Закон достаточного основания

Он формулируется так: *«Всякая истинная мысль должна быть достаточно обоснованной».* С другой стороны, латинская пословица гласит: «Ошибаться свойственно всем людям, но настаивать на своих ошибках свойственно лишь глупцам».

Применение законов классической двузначной логики в информатике

Закон тождества в информатике используется в отождествлении следующих понятий: «Линейный алгоритм» и «неразветвленный алгоритм».

Слова русского или любого другого языка имеют много достоинств, но они многозначны, размыты, поэтому плохо приспособлены для описания алгоритмов. Для записи алгоритмов нужны особые *алгоритмиче-*

ские языки. «Ошибки в алгоритмах — настоящее бедствие, — пишет В. Параджанов. — Из-за них космические ракеты "сходят с ума" и летят мимо цели, ломаются спутники, разбиваются самолеты, гибнут люди, взрываются заводы, портится продукция, начинается хаос, нарушается жизнь общества. На исправление ошибок уходят огромные деньги. Поэтому нужно с самого начала тщательно проверять алгоритмы»[39]. Совет В. Параджанова в связи с чтением алгоритма: «Старайся найти противоречия, нелепости, дефекты, упущения, ошибки и слабые места... Проверь, правильно ли расставлены "да" и "нет" в развилках. Может, их нужно поменять местами?» В этих высказываниях речь идет о законе тождества и законе исключенного третьего (да — нет), которые применяются при составлении блок-схем. Тождественны два понятия: «ясный, доходчивый алгоритм» и «эргономичный алгоритм». Многозначны такие слова в информатике, как: «шампур», «плечо развилки» (левое и правое), «объединение» и многие другие. Два понятия тождественны: «перестановка плеч у развилки» и «рокировка».

Например, закон тождества в информатике проявляется в понятии «равносильные алгоритмы» и «равносильные преобразования». «Равносильные алгоритмы — это алгоритмы, имеющие одинаковый набор маршрутов». «При равносильных преобразованиях смысл алгоритма не меняется». Равносильные преобразования позволяют превратить плохую (неэргономичную) блок-схему в хорошую (эргономичную).

[39] *Параджанов В.* Занимательная информатика. М., 1998. С. 51.

Глава 4

ЕДИНСТВО И МНОГООБРАЗИЕ ЛОГИКИ

Развитие логики: основные этапы

Как и всякая наука, логика развивается. Четкое выделение основных этапов, анализ особенностей и закономерностей этого развития представляет одну из философских проблем логики. В развитии формальной логики принято выделять два основных этапа: этап традиционной логики и современный этап математической логики. Основанием деления на эти этапы явилось существенное различие применяемых в логике для решения ее проблем средств и методов исследования.

Начало *первого этапа* связано с работами древнегреческого философа и ученого Аристотеля (384—322 гг. до н.э.), в которых впервые дано систематическое изложение логики. Логику Аристотеля и всю доматематическую логику обычно называют «традиционной» формальной логикой. Традиционная формальная логика включала и включает такие разделы, как понятие, суждение, умозаключение (в том числе и индуктивное), законы логики, доказательство и опровержение, гипотеза. Аристотель видел в логике орудие (или метод) исследования. Основным содержанием Аристотелевой логики является теория дедукции. В логике Аристотеля содержатся элементы математической (символической) логики, у него имеются «начатки исчисления высказываний»[40].

[40] *Стяжкин Н.И.* Формирование математической логики. М., 1967. С. 39.

Второй этап — это появление математической (или символической) логики.

Немецкий философ Г.В. Лейбниц (1646 – 1716) по праву считается основоположником математической (символической) логики.

Начиная с Лейбница, в логике используется в качестве метода исследования метод формализации, который традиционной логикой относился только к методам математического исследования, а Лейбниц показал, что он имеет общенаучный характер. Лейбниц пытался построить универсальный язык, с помощью которого споры между людьми можно было бы разрешать посредством вычисления. В XIX в. математическая логика получила интенсивное развитие в работах Д. Буля, Э. Шрёдера, П.С. Порецкого, Г. Фреге и других логиков.

Математическая (или *символическая*) *логика* изучает логические связи и отношения, лежащие в основе дедуктивного (логического) вывода. При этом в математической логике для выявления структуры различных выводов строятся их математические модели — логические исчисления, прежде всего исчисление высказываний и исчисление предикатов в их различных модификациях. Математическая логика разрабатывает применение математических методов к анализу форм и законов доказательного рассуждения.

Отечественный логик А.Л. Субботин в своей обстоятельной монографии «Традиционная и современная формальная логика», рассматривая аристотелевскую силлогистику и силлогистику в математической логике, пишет о взаимоотношении традиционной логики и математической (символической) логики так: «В математической логике содержательное логическое мышление (процессы умозаключения, рассуждения и доказательства) изучается посредством его отображения в формальных логических системах, или исчислениях, что дает исключительно эффективный метод для постановки и решения многих существенных задач логического исследования. Математическая логика значительно расширила и углубила область исследования формальной логики, приблизила ее проблематику к интересам конкретных (прежде всего математических) наук... В современной логике достигается не только более общее, но и более точное, содержательное и конкретное, чем в традиционной логике, представление о законах логики, структуре логических выводов и доказательств»[41].

Однако в определении понимания сущности и предмета математической логики среди ученых по-прежнему нет полного единства. Так, американский математик и логик С.К. Клини пишет: «*Математическая логика* (называемая также *символической логикой*) — это логика, развиваемая с помощью математических методов. Этот термин имеет и другой смысл: изучать математическую логику — значит изучать логику, используемую в математике»[42]. Известный специалист в области математической логики американский математик и логик А. Чёрч так определяет математическую логику: «Предмет формальной логики, изучаемый методом построения формализованных языков, называется *символической логикой*, или *математической логикой*»[43]. А. Чёрч предпочитает термин «математическая логика», понимая под этим «содержательную логику, изучаемую математическими методами, в частности формальным аксиоматическим методом»[44].

Видный американский математик и логик *Х. Карри* вводит различные смыслы термина «логика» и употребляет термин «философская логика» и термин «математическая логика», считая вторую ветвью математики. «Математическая логика, — пишет Х. Карри, — является ветвью математики, примерно так же связанной с анализом и критикой мышления, как геометрия с наукой о пространстве»[45]. При этом Х. Карри считает, что «достаточно бывает сформулировать централь-

---

[41] *Субботин А.Л.* Традиционная и современная формальная логика. М., 1969. С. 5—6. См. также: *Маркин В.И.* Силлогистические теории в современной логике. М., 1991.

[42] *Клини С.* Математическая логика. М., 1973. С. 11.

[43] *Чёрч А.* Введение в математическую логику. М., 1966. С. 6, 10.

[44] Там же. С. 15.

[45] *Карри Х.* Основания математической логики. М., 1969. С. 18.

ную идею или цель предмета, не претендуя на уточнение его границ»[46].

Отечественные математики Ю.Л. Ершов и Е.А. Палютин о математической логике пишут так: «Математическая логика как самостоятельный раздел современной математики сформировалась сравнительно недавно — на рубеже девятнадцатого-двадцатого веков. Возникновение и быстрое развитие математической логики в начале нашего века было связано с так называемым кризисом в основаниях математики»[47]. Так же как и Х. Карри, они считают математическую логику самостоятельным разделом (ветвью) математики, и с этим можно согласиться.

Математическая логика имеет много направлений. Во-первых, она делится на классическую логику и неклассическую логику. Классическая логика включает в себя логику высказываний и логику предикатов и другие разделы. Неклассическая логика в современный период включает разветвленную цепь направлений: многозначная логика, конструктивная логика, интуиционистская логика, положительная (позитивная) логика, модальная логика (в том числе деонтическая логика), паранепротиворечивая логика, релевантная логика и другие направления.

Основные направления современной логики

Одним из оснований деления современной логики на различные направления служит различие применяемых в ней принципов, на которых базируются исследования. В результате такого деления различают прежде всего *классическую логику* и *неклассические логики*. В.С. Меськов выделяет следующие основополагающие принципы *классической* логики:

«1) область исследования составляют обыденные рассуждения, рассуждения в классических науках;

[46] *Карри Х.* Основания математической логики. С. 18.
[47] *Ершов Ю.Л., Палютин Е.Л.* Математическая логика. М., 1979.

2) допущение разрешимости любой проблемы;

3) отвлечение от содержания высказываний и от связей по смыслу между ними;

4) абстракция двузначности высказываний»[48].

Неклассические логики отступают от этих принципов. Среди различных видов неклассических логик различают: интуиционистскую логику, многозначную, модальную, паранепротиворечивую и другие.

Классическая логика: исчисление высказываний (пропозициональная логика)

В традиционной логике одной из форм абстрактного мышления является суждение, например «Всякая трапеция — четырехугольник». В математической логике используется для этого термин «высказывание». Понятия «суждение» и «высказывание» являются синонимами. В математической логике построено **исчисление высказываний** — один из ее важнейших разделов.

I. Символы исчисления высказываний состоят из знаков трех категорий:

1. a, b, c, d, e, f... и те же буквы с индексами a_1, a_2, ... Эти символы называются *переменными высказываниями*, или *пропозициональными переменными*. С помощью этих символов записываются повествовательные предложения, выражающие суждения (высказывания)[49].

---

[48] *Меськов В.С.* Очерки по логике квантовой механики. М., 1986. С. 9.

[49] У П.С. Новикова «символы первой категории представляют собой большие латинские буквы A, B, ..., X, V, Z и те же буквы с индексами A_1, A_2, ... Эти символы мы будем называть *переменными высказываниями»* (Элементы математической логики. М., 1973. С. 67). У С. Клини в главе I «Исчисление высказываний» приняты другие обозначения. «Мы назовем эти предложения *элементарными формулами* или *атомами* и будем обозначать их прописными буквами конца латинского алфавита "P", "Q", "R", ..., "P_1", "P_2", "P_3", ... Различные буквы будут представлять различные атомы, а каждая из них на протяжении любого конкретного рассуждения должна обозначать один и тот же атом» (т. е. одно и то же высказывание. — *Авт.*) (*Клини С.* Математическая логика / Пер. с англ. М., 1973. С. 13). У других авторов имеются другие обозначения. В. А. Светлов пишет: «Знаки для обозначения высказываний (пропозициональных переменных): A, B, С, ..., A_1, B_1, C_1... » (Практическая логика. СПб., 1995. С. 263).

2. Символы, обозначающие логические термины: $-$, $\wedge$, $\vee$, $\veebar$, $\to$, $\equiv$. Эти символы выражают следующие логические операции (логические связки): отрицание («не»), конъюнкция («и»), нестрогая дизъюнкция (нестрогое «или»), строгая дизъюнкция (строгое «или»), импликация («если ... то»), эквиваленция («если и только если, то...»).

Скобки: ().

Иных символов, кроме указанных, исчисление высказываний не имеет.

II. Определение формулы (или правильно построенной формулы — ППФ).

Переменное высказывание есть формула *(a, b, c ...)*.

Если *A и B* есть ППФ, то $\overline{A}$, $(A \wedge B)$, $(A \vee B)$, $(A \veebar B)$, $(A \equiv B)$ и $(A \to B)$ есть ППФ. (Здесь буквы *A, B, C...* не являются символами исчисления высказываний. Они представляют собой только условные сокращенные обозначения формул.)

Ничто иное не является формулой (ППФ).

Так, не являются формулами: $(a \wedge b;\ a - b;\ \wedge a;\ a \to b;\ a \wedge b;\ a \vee b.$ Первое из этих слов содержит незакрытую скобку. Второе и третье слова никак не могут быть построены на основании пункта 2. Четвертое слово не является формулой, потому что хотя *a* и *b* — *формулы, но соединение формул связкой → всегда сопровождается заключением в скобки; то же самое можно сказать и о двух последних словах.*

Существуют правила опускания скобок. При этом исходят из того, что связка $\wedge$ связывает сильнее, чем все остальные; связка $\vee$ сильнее, чем $\to$. В силу этих правил формулу $(a \wedge b) \vee c$ будем писать в виде $a \wedge b \vee$ $\vee\ c$. Формулу $(a \vee b) \to (c \wedge d)$ будем писать в виде $a \vee b \to c \wedge d$[50].

Однако не всякая формула может быть записана без употребления скобок. Например, в формулах $a \to (b \to c)$, $a \wedge (b \to c)$ исключение скобок невозможно.

Для моделирования с помощью ЭВМ текстов естественного языка, включающих отрицание, возможно записать некоторые выражения на языке алгебры ло-

[50] См.: *Новиков П.С.* Элементы математической логики. М., 1973. С. 68—71.

гики (*A*, *B*, *C*, *D* — высказывания, « + » — знак нестрогой дизъюнкции, « • » — знак конъюнкции, « – » — знак отрицания[51]).

Словесное определение	Логическое высказывание
Не *не A*.	$\overline{\overline{A}}$
Не A, а B. Не A, но B.	$\overline{A} \cdot B$.
Не только *A*, но и *B*.	$A \cdot B$.
A, а не *B*.	$A \cdot \overline{B}$.
A, а не *B, C,* а не *D*.	$A \cdot \overline{B} \cdot C \cdot \overline{D}$.
Не то, что *A*, а *B*.	$\overline{A} \cdot B$.
Не то чтобы *A,* но *B*.	$\overline{A} \cdot B$.
A, но не *B*.	$A \cdot \overline{B}$.
Не A, не B, а C.	$\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot C$, $\overline{A+B} \cdot C$.
Не A, не B, но *C*.	$\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot C$, $\overline{A+B} \cdot C$.
Не A, не B, не C, а D.	$\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdot D$, $\overline{A+B+C} \cdot D$.
A, а не *B, не C*.	$A \cdot \overline{B} \cdot \overline{C}$, $A \cdot \overline{B+C}$.
Ни *A, ни B* одновременно.	$\overline{A \cdot B}$, $\overline{A} + \overline{B}$.
Ни *A*, ни *B*.	$\overline{A} \cdot \overline{B}$, $\overline{A+B}$.
Ни A, ни *B,* но С.	$\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot C$, $\overline{A+B} \cdot C$.
A или *B,* а не *C*.	$(A + B) \cdot \overline{C}$.

В логике как синонимы используются термины «суждение» и «высказывание», второй из них используется в математической логике, первый — в традиционной формальной логике.

Способы отрицания простых суждений (высказываний)

Два суждения называются *отрицающими*, или *противоречащими* друг другу, если одно из них истинно,

[51] См.: *Ледли Р.* Программирование и использование цифровых вычислительных машин / Пер. с англ. М., 1966. С. 55. Ледли Р. пользуется иной символикой, чем в нашей книге.

а другое ложно (т. е. не могут быть одновременно истинными и одновременно ложными).

Отрицающими являются следующие пары суждений.

1. A — O. «Все *S* суть *P*» и «Некоторые *S* не суть *P*».

2. E — I. «Ни одно *S* не суть *P*» и «Некоторое *S* суть *P*».

3. «Это *S* суть *P»* и «Это *S* не суть *P*».

a	$\bar{a}$
и	**л**
л	**и**

Способы отрицания сложных суждений (высказываний)

Чтобы получить отрицание сложных суждений, имеющих в своем составе лишь операции конъюнкции и дизъюнкции, необходимо поменять знаки операций друг на друга (т. е. конъюнкцию на дизъюнкцию и наоборот) и над буквами, выражающими элементарные высказывания, написать знак отрицания, а если он уже есть, то отбросить его.

Имеем:

$$\overline{a \vee b} \equiv \bar{a} \wedge \bar{b}$$

$$\overline{\bar{a} \vee \bar{b}} \equiv a \wedge b$$

$$\overline{\bar{a} \wedge \bar{b}} \equiv a \vee b$$

$$\overline{a \wedge b} \equiv \bar{a} \vee \bar{b}.$$

Эти четыре формулы называются законами де Моргана. Применив их к сложному суждению

$$(a \vee \bar{b}) \wedge (c \vee e),$$

получим его отрицание:

$$\overline{(a \vee \bar{b}) \wedge (c \vee e)} \equiv (\bar{a} \wedge b) \vee (\bar{c} \wedge \bar{e}).$$

Если в сложном суждении имеется импликация, то ее необходимо заменить на тождественную формулу без импликации (с дизъюнкцией), а именно:

$$(a \to b) \equiv (\bar{a} \vee b),$$

затем по общему методу находить противоречащее суждение, т. е. находить отрицание сложного суждения. Пример: «Если я буду иметь свободное время *(a)*, то буду вязать *(b)* или посмотрю телевизор (*c*)». Формула этого сложного суждения: $a \to (b \vee c)$.

Противоречащее суждение будет:

$$\overline{a \to (b \vee c)} \equiv \overline{\overline{a} \vee (b \vee c)} \equiv a \wedge (\overline{b} \wedge \overline{c}).$$

Оно читается так: «У меня будет свободное время, но я не буду вязать и не буду смотреть телевизор».

Выражение логических связок (логических постоянных) в естественном языке

В мышлении мы оперируем не только простыми, но и сложными суждениями, образуемыми из простых посредством логических связок (или операций) — конъюнкции, дизъюнкции, импликации, эквиваленции, отрицания, которые также называются логическими константами или логическими постоянными. Проанализируем, каким образом перечисленные логические связки выражаются в естественном (русском) языке.

Конъюнкция (знак «$\wedge$») выражается союзами: «и», «а», «но», «да», «хотя», «который», «зато», «однако», «не только... но и» и др.

В логике высказываний действует закон коммутативности конъюнкции $(a \wedge b) \equiv (b \wedge a)$. В естественном русском языке такого закона нет, так как действует фактор времени. Там, где учитывается последовательность во времени, употребление союза «и» некоммутативно. Поэтому не будут эквивалентными, например, такие два высказывания: 1) «Джейн вышла замуж, и у нее родился ребенок» и 2) «У Джейн родился ребенок, и она вышла замуж».

В естественном языке конъюнкция может быть выражена не только словами, но и знаками препинания: запятой, точкой с запятой, тире. Например: «Сверкнула молния, загремел гром, пошел дождь».

О выражении конъюнкции средствами естественного языка пишет С. Клини в книге «Математическая логика». В разделе «Анализ рассуждений» он приводит (не исчерпывающий) список выражений естественного языка, которые могут быть заменены символами «$\wedge$» (или «&»). Формула $A \wedge B$ в естественном языке может выражаться так:

«Не только *A*, но и *B*.
B, хотя и *A*.
B, несмотря на *A*.
Как *A*, так и *B*.
A вместе с *B*.
A, в то время как *B*»[52].

С. Клини показывает, какими разнообразными способами могут быть выражены в естественном языке *импликация* ($A \supset B$) и *эквиваленция* ($A \sim B$). (Буквами *A* и *B* обозначены переменные высказывания.)

Приведем структуры и соответствующие им примеры, иллюстрирующие разнообразные способы выражения *импликации* $A \supset B$ (где *A* — антецедент, а *B* — консеквент).

Если A, то B. Если пойдет дождь, *то* экскурсия в лес не состоится.

Коль скоро A, то B. Коль скоро приближается буря, *то* медузы уплывают от берега моря.

В случае A имеет место B.

В случае, когда наступает инфляция, *имеет место* снижение жизненного уровня трудящихся.

4. *Для B достаточно A.*

Для того чтобы металл расплавить, *достаточно* его нагреть до температуры плавления.

5. Для A необходимо B.

Для сохранения мира на Земле *необходимо* увеличить усилия всех государств в борьбе за мир.

6. *A (материально) влечет B.*

Овладение искусством общения *влечет* улучшение межличностных отношений.

7. *A*, *только если B.*

Ваши коммуникации будут успешнее, *только если* вы займете позицию: «У меня все в порядке — у тебя все в порядке» (Р. Шмидт)[53].

8. *B, если A.*

Мы поедем отдыхать в санаторий, *если* у нас будет путевка.

---

[52] *Клини С.* Математическая логика. М., 1973. С. 81.

[53] *Шмидт Р.* Искусство общения / Пер. с нем. М., 1992. С. 59.

Приведем структуры и соответствующие им примеры разнообразных способов выражения *эквиваленции.*

1*. А, если и только если В.*

Посевная пройдет успешно, *если и только если* вовремя будут отремонтированы сельскохозяйственные машины.

2*. Если А, то В, и обратно.*

Если вы твердо уверены, что ваши аргументы убедительнее, но ваш коллега, стоящий на той же ступеньке служебной лестницы, не хочет этого замечать, *то* избегайте призывать на помощь вашего начальника, и обратно.

3*. А, если В, и В, если А.*

Всякое число является четным, *если* оно делится на 2, *и* число делится на 2, *если* оно является четным.

4*. Для А необходимо и достаточно В.*

Для того чтобы число без остатка делилось на 5, *необходимо и достаточно*, чтобы его последняя цифра была 0 или 5.

5. А тогда и только тогда, когда В.

В коллективе возникает хороший психологический климат *тогда и только тогда, когда* будут однозначно определены задачи, ответственность и компетенция каждого сотрудника.

Из приведенных выше схем и соответствующих им высказываний с конкретным разнообразным содержанием становится ясно, насколько многогранны в естественном языке (в частности, русском) средства выражения импликации и эквиваленции и других логических связок (логических терминов). Это можно сказать и о других естественных языках.

Логическое следствие

Эффективность средств математической логики видна и тогда, когда средствами традиционной формальной логики трудно установить, вытекает ли какое-либо логическое следствие из данных посылок или нет, в случае, когда мы имеем дело с большим количеством посылок (но не имеем еще дела с формулами, содержащими кванторы).

Выведение следствий из данных посылок — широко распространенная логическая операция. Как известно, условиями истинности заключения являются истинность посылок и логическая правильность умозаключения. Иногда, в ходе доказательства от противного, допускаются в рассуждении заведомо ложные посылки (так называемый антитезис при косвенном доказательстве) или принимаются посылки недоказанные, однако эти посылки обязательно подлежат в дальнейшем исключению. Человек, не изучивший логики, делает эти выводы, не применяя сознательно фигур и правил умозаключения. Изучивший формальную логику знаком с правилами силлогизмов, условно-категорических умозаключений, дилемм и прочих видов умозаключений. Математическая же логика дает формальный аппарат, с помощью которого в таких частях логики, которые не выходят за пределы так называемого комбинированного исчисления классов (исчисления классов, соединенного определенным образом с исчислением высказываний), можно выводить **все** попарно неэквивалентные между собою следствия из данных посылок. Очень уместно показать этот аппарат в действии на примере получения всех таких следствий из совокупности данных посылок в исчислении высказываний.

С помощью этого аппарата мы сможем, имея некоторые данные (некоторую информацию, какие-либо сведения), получить из них новые сведения, непосредственно не очевидные из этой информации, но заключенные в ней, т. е. сумеем выводить логические следствия, вытекающие из данной информации[54].

Логическое следствие из данных посылок есть выражение, которое не может быть ложным, когда эти посылки истинны. То, что b есть логическое следствие из посылок a_1, a_2, ..., a_n, можно записать так:

---

[54] Строгое определение того, что такое *«логическое следствие»*, представляет большие трудности. Наиболее естественным представляется такое определение, в основе которого лежит понимание логического следствия (из данных посылок) как такого знания, для получения которого не требуется никакой дополнительной информации по сравнению с той, которая уже содержится в посылках. Именно из этого понимания логического следования, не претендующего на достаточную строгость, мы здесь и исходим.

$(a_1 \wedge a_2 \wedge \ldots \wedge a_n \to b)^*$ есть тождественно-истинное высказывание, или закон логики. Звездочка здесь служит обозначением того, что в выражении, стоящем в скобках, произведена замена конкретных элементарных высказываний переменными.

Иными словами, некоторое выражение b есть логическое следствие из формулы a, если, заменив те элементарные высказывания, которые входят в a и b, переменными, мы получим тождественно-истинное выражение $(a \to b)^*$, или закон логики.

Так, категорический силлогизм можно записать в виде выражения $((a \to b) \wedge (b \to c)) \to (a \to c)$, где первая посылка $a \to b$, вторая посылка $b \to c$, а заключение, или логическое следствие, $a \to c$. Все это сложное выражение есть закон логики. Это можно доказать по таблице, как это мы делали выше, или другими путями, в частности, приведением к так называемой *конъюнктивной нормальной форме.*

Конъюнктивная нормальная форма выражения есть конъюнкция из дизъюнкций элементарных высказываний или их отрицаний, эквивалентная данному выражению[55]. Конъюнктивная нормальная форма позволяет проверить, является ли данное выражение тождественно-истинным.

Покажем на примере, как данное выражение приводится к конъюнктивной нормальной форме.

Пусть дано выражение

$$\overline{(a \vee (b \to \overline{c}))} \to (a \to d).$$

Прежде всего это выражение нужно заменить эквивалентным выражением такого вида, в котором нет никаких знаков операций, помимо «$\wedge$», «$\vee$» и отрицания, причем знак отрицания может стоять только над переменными. Эквивалентные преобразования выполняются в соответствии с уже известными нам формулами (запишем справа от вертикальной черты используемые нами при этом формулы).

[55] В этом определении учитываются как «вырожденные» случаи и такие, где дизъюнкция (или конъюнкция) состоит только из одного члена.

$$\overline{(a\vee(b\to\bar{c}))\to(a\to d)}\equiv\overline{(a\vee(\bar{b}\vee\bar{c}))\to(\bar{a}\vee d)}\equiv$$
$$\equiv\overline{\overline{(a\vee(\bar{b}\vee\bar{c}))}\vee(\bar{a}\vee d)}\equiv\overline{\overline{(a\vee(\bar{b}\vee\bar{c})}}\wedge\overline{\bar{a}\vee d}\equiv$$
$$\equiv(a\vee(\bar{b}\vee\bar{c})\wedge\bar{\bar{a}}\wedge\bar{d}\equiv(a\vee(\bar{b}\vee\bar{c})\wedge a\wedge\bar{d}.$$

Итак, $\overline{(a\vee(b\to\bar{c}))\to(a\to d)}\equiv(a\vee(\bar{b}\vee\bar{c})\wedge a\wedge\bar{d}.$

$m\to n\equiv\bar{m}\vee n$

$\overline{m\vee n}\equiv\bar{m}\wedge\bar{n}$

$\bar{\bar{m}}\equiv n$

Последнее выражение есть конъюнкция, состоящая из трех членов: $a\vee\bar{b}\vee\bar{c}$; a; $\bar{d}$. Второй и третий члены состоят из одной буквы и трактуются здесь как «вырожденная» дизъюнкция из одной переменной или ее отрицания. Таким способом выражение приводится к конъюнктивной нормальной форме.

Для того чтобы обнаружить, имеем ли мы дело с законом логики, надо привести выражение к конъюнктивной нормальной форме, и если в каждом члене конъюнкции есть одновременно какая-нибудь переменная и ее отрицание, то это — закон логики; если же есть хотя бы один член конъюнкции, в котором нет такой пары, то, значит, данное выражение не является законом логики. Проверим, является ли выражение $(a\to b)\to(\bar{b}\to\bar{a})$ законом логики. С этой целью проведем сначала следующие преобразования:

$$(a\to b)\to(\bar{b}\to\bar{a})\equiv(\bar{a}\vee b)\to(\bar{\bar{b}}\vee\bar{a})\equiv\overline{\bar{a}\vee b}\vee$$
$$\vee(b\vee\bar{a})\equiv(\bar{\bar{a}}\wedge\bar{b})\vee(b\vee\bar{a}).$$

Чтобы воспользоваться навыками, приобретенными учащимися в средней школе, заменим в конъюнктивной нормальной форме знаки дизъюнкции на знаки умножения (на точку), а знаки конъюнкции — на знаки сложения, после чего, пользуясь законом дистрибутивности дизъюнкции относительно конъюнкции, т. е. формулой $(a\wedge b)\vee c\equiv(a\vee c)\wedge(b\vee c)$, «откроем» скобки, $(a\wedge b)\vee(b\vee\bar{a})$ заменим на $(a+\bar{b})\cdot b\cdot\bar{a}$. Открыв скобки, получим выражение $a\cdot b\cdot\bar{a}+\bar{b}\cdot b\cdot\bar{a}$, в котором два члена. В первом члене видим a и $\bar{a}$, во втором — b и $\bar{b}$, значит, $(a\to b)\to(\bar{b}\to\bar{a})$ есть закон логики.

Так мы можем проверить, является ли некоторое выражение следствием из данных посылок или не является. Но это еще не аппарат, позволяющий выводить логические следствия из данных посылок.

Знание изложенного нами аппарата математической логики уже позволяет решать задачи не только логического, но и технического характера. С целью раскрытия роли математической логики в технике можно показать решение 1—2 задач на упрощение релейно-контактных схем.

Задача. Упростить релейно-контактную схему. Эта задача сформулирована известным логиком *С. А. Яновской.*

Дана схема (рис. I). Требуется ее максимально упростить.

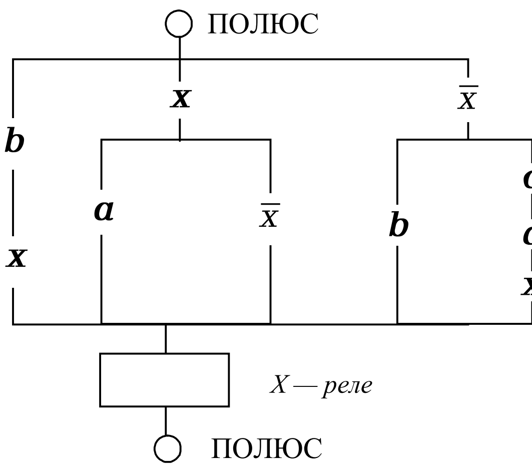


Рис. I

Параллельное соединение проводников соответствует дизъюнкции, так как ток пойдет или по одному проводнику, или по другому; последовательное соединение — конъюнкции, ибо ток пойдет и по одному проводнику, и по другому. Запишем данную схему с помощью символов математической логики, затем, произведя ряд преобразований, упростим ее.

Ток пойдет от одного полюса к другому по пути bxX, или по пути xaX, или по $x\bar{x}\ X$, или по $\bar{x}\ bX$, или по пути $\bar{x}\ cdxX$. Получим выражение:

$bxX \vee xaX \vee x\bar{x}\ X \vee \bar{x}\ bX \vee \bar{x}\ cdxX$,

в котором третий и пятый члены можем отбросить как тождественно-ложные члены дизъюнкции (содержащие x и $\bar{x}$) и общий член X вынести за скобки.

Получим $(bx \vee ax \vee b\bar{x}) \bullet X \equiv (b(x \vee \bar{x}) \vee ax) \bullet X \equiv$
$\equiv (ax \vee b) \bullet X.$ *(1)*

$x \vee \bar{x}$ — тождественно-истинный член конъюнкции можно отбросить. Итак, выражение (1) упростили до вида $(ax \vee b) \bullet X$.

Для последнего выражения составим релейно-контактную схему (рис. II).

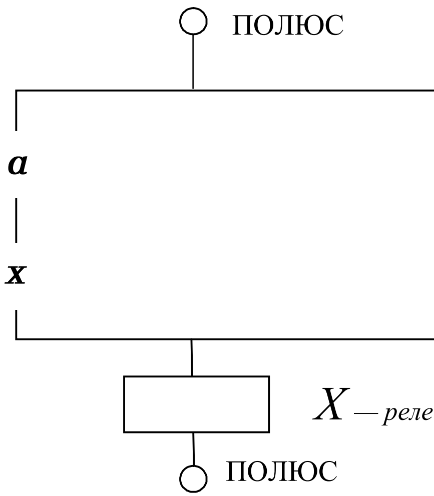


Рис. II

Сравнение I и II схем показывает простоту последней. Без знания математической логики упростить даже такую несложную схему, как первоначально данная, было бы затруднительно.

Классическая логика: исчисление предикатов

В исчислении высказываний не происходит расчленения суждения на субъект *(S)* и предикат *(P).* Суждения рассматриваются как единое целое.

Но для суждений и других разделов формальной логики (например, категорический силлогизм, полисиллогизм и др.) исчисления высказываний недостаточно.

Суждения надо рассматривать глубже, т. е. расчленять их на субъект и предикат. Для этой дели вводятся понятия *«предикат» или «пропозициональная функция».* Иногда их называют функция-высказывание или логическая функция.

Пример.

1) x — город.

2) x — ученый y.

3) x расположен между y и z.

Подставив вместо переменных (x, y, z) их имена из определенной предметной области, получим истинное или ложное высказывание. «Саратов — город» (истинное высказывание), «Байкал — город» (ложное высказывание), «Дмитрий Иванович Менделеев — ученый России» (истинное высказывание), «Курск расположен между Архангельском и Норильском» (ложное высказывание).

В исчислении предикатов существуют кванторы: квантор общности ($\forall$) и квантор существования ($\exists$). О них было написано ранее.

Используя кванторы и предикаты, можно записывать суждения (простые и сложные) на языке математической логики. Возьмем определение и примеры из книги Стефана Клини «Математическая логика». *С. Клини* пишет: «Мы *будем называть предикатом* всякую пропозициональную функцию $P(x_1, \ldots, x_n)$ с любым числом $n \geqslant 0$ (независимых) переменных. Такая терминология коротка и удобна. *Объектом* или *индивидом* мы (будем называть значения любой из этих переменных. Если $n = 0$, то предикат оказывается высказыванием (предельный случай); если $n = 1$, то предикат соответствует тому, что называют *свойством;* если $n = 2$, то предикат — это *(бинарное) отношение;* если $n = 3$, то это *тернарное отношение* и т. д.»[56].

Далее С. Клини приводит примеры высказываний и их записи в исчислении предикатов.

[56] *Клини С.* Математическая логика / Пер. с англ. М., 1973. С. 94, 96.

(a_1) «Кто-то любит Джейн».

(a_2) «Есть некто, кто любит Джейн».

(b) «Никто не любит Джейн».

(c) «Все любят Джейн».

(d) «Каждый кого-нибудь любит».

(e) «Кого-то любят все».

(f) «Всяк любит себя».

(g) «Не существует никого, кто не любил бы себя».

Обозначим через $L(x, y)$ выражение «x любит y» (x, y — переменные из области людей). Используя кванторы ($\forall$) и ($\exists$) и — знак отрицания, можно эти фразы в исчислении предикатов записать так:

(a_1) $(\exists x)L(x,$ *Джейн*$)$.

(a_2) $(\exists x)L(x,$ *Джейн*$)$.

(b) $\neg(\exists x)L(x,$ *Джейн*$)$.

(c) $(\forall x)L(x,$ *Джейн*$)$.

(d) $(\forall x)(\exists y)L(x, y)$.

(e) $(\exists y)(\forall x)L(x, y)$.

(f) $(\forall x)L(x, x)$.

(g) $\neg(\exists x)\neg L(x, x)$.

С. Клини употребляет понятия *«предикат»* и *«пропозициональная функция»* как синонимы.

Мы здесь не приводим строгого определения исчисления предикатов. Оно включает в себя полностью исчисление высказываний и дополнено некоторыми сведениями, связанными с употреблением квантора общности и квантора существования. Дается алфавит исчисления предикатов и определение правильно построенной формулы исчисления предикатов.

Мы покажем применение исчисления предикатов к различным разделам формальной логики (например, в теме «Суждение»).

В теме приходится вводить так называемые *кванторы — квантор существования* $(\exists x)$ и *квантор общности* $(\forall x)$, которые называются *двойственными* друг другу. Запись $(\forall x)P(x)$ читается как «все x обладают свойством P», а запись $(\exists x)P(x)$ читается как «существуют такие x, которые обладают свойством P».

Запись $(\forall x)P(x)$ (если x есть металл, то x является теплопроводным) читается как «для всякого x, если x —

металл, то *x* — теплопроводен», где под *x* подразумеваются физические тела.

Не вызывает трудности понимание понятия *логической функции (функции-высказывания)* или «пропозициональной функции». Логические функции *«x* — четное число», *«y* — страна» при подстановке вместо переменной *x* или *y* имен единичных предметов из той предметной области, о которой мы говорим, превращаются в истинные или ложные суждения. Например, «2 — четное число» (истинное суждение), «Азия — страна» (ложное суждение).

Важно добиться четкого понимания того, как записываются суждения видов *A, I, E, O* (традиционной формальной логики) в терминах математической логики, ибо это будет необходимо для усвоения темы «Отрицание суждений».

Суждение *A*: «Все распространенные предложения имеют второстепенные члены». Запись этого суждения средствами исчисления предикатов (т. е. с помощью употребления кванторов) выглядит так: ($\forall x$) (если *x* — распространенное предложение, то *x* имеет второстепенные члены).

В общем случае конкретные предикаты заменяются предикатными переменными *S* и *P*: ($\forall x$) (если *x* есть *S*, то *x* есть *P*) или полностью в символическом виде: $(\forall x)\ (S(x) \to P(x))$. Последняя запись читается так: «для всякого предмета *x*, если он обладает свойством *S*, т. е. является элементом класса предметов, имеющих свойство *S*, то он обладает и свойством *P* (является элементом класса предметов, имеющих свойство *P*)», или «все *S* суть *P*». В нашем примере *x* был взят из предметной области предложений, *S* означает класс распространенных предложений, а *P* — класс предложений, имеющих второстепенные члены.

В действительности этими формами содержание аристотелевских суждений еще не выражается полностью, так как у Аристотеля предполагается, что классы, о которых идет речь (классы рыб, классы животных и др.), не пусты. Можно было бы записать средствами исчисления предикатов и это дополнительное требование. Но мы не будем этого делать, чтобы не вводить усложнений; к тому же в обыденной речи нам часто приходится высказывать суждения о пустых классах (например, «не существует вечный двигатель», «не существует человек в возрасте 300 лет»).

Суждение ***E:*** «Ни одно сказуемое не является второстепенным членом предложения». Последовательные записи расположатся в следующем порядке: $(\forall x)$ (если x — сказуемое, то x не является второстепенным членом предложения), $(\forall x)$ (если x есть S, то x не есть P), $(\forall x)\,(S(x) \rightarrow \overline{P(x)})$. То есть: «Для всякого предмета x верно, что если он обладает свойством S, то он не обладает свойством P». Ни одно S не есть P. В нашем примере x принадлежит к области членов предложения.

Суждение I: «Некоторые подлежащие выражаются местоимением в именительном падеже». Это суждение можно записать посредством квантора существования.

$(\exists x)$ (x — подлежащее и x — местоимение в именительном падеже), $(\exists x)$ (x есть S и x есть P), $(\exists x)\,(S(x) \wedge \wedge \overline{P(x)})$. Последняя формула читается так: «Существует предмет x, который обладает свойством S и свойством P». Некоторые S суть P. В нашем примере x взят из области слов.

Суждение ***O:*** «Некоторые предложения не имеют сказуемого». $(\exists x)$ (x есть предложение и x не имеет сказуемого), $(\exists x)$ (x есть S и x не есть P), $(\exists x)\,(S(x) \wedge \wedge \overline{P(x)})$, т. е. существует такой предмет x, который обладает свойством S и не обладает свойством P, или короче: некоторые S не суть P. Здесь x взят из области сочетаний слов, выражающих законченную мысль.

$\overline{\mathrm{A}} = \mathrm{O}$

$\overline{\mathrm{E}} = \mathrm{I}$

$\overline{\mathrm{I}} = \mathrm{E}$

$\overline{\mathrm{O}} = \mathrm{A}$

Средствами математической логики можно вывести эти четыре эквивалентности из правил, являющихся обобщениями правил де Моргана. Для этого необходимо предварительно объяснить способ образования формул, эквивалентных отрицанию суждений, начинающихся с кванторов общности или существования, а именно:

$$(\overline{\forall x})\,P(x) = (\exists x)\overline{P(x)},$$
$$(\overline{\exists x})\,P(x) = (\forall x)\,\overline{P(x)}.$$

При отрицании формулы, имеющей впереди квантор, знак отрицания (черту над выражением) условимся ставить только над квантором. В результате преобразования, о котором идет здесь речь, квантор меняется на двойственный, а отрицание переходит на подкванторную часть. Первая формула означает: «неверно, что все x обладают свойством *P*» эквивалентно тому, что «существуют такие x, которые не обладают свойством *P*». Например, неверность того, что «все школьники являются спортсменами», эквивалентна тому, что «некоторые школьники не являются спортсменами».

Далее приведем следующие эквивалентности, которые нам понадобятся[57].

1. $\overline{a \to b} = a \wedge \overline{b}$	Отрицание импликации эквивалентно, конъюнкции первого члена импликации и отрицания второго ее члена.
2. $\overline{a \wedge b} = \overline{a} \vee \overline{b}$	Отрицание конъюнкции эквивалентно дизъюнкции отрицаний.
3. $\overline{a \vee b} = \overline{a} \wedge \overline{b}$	Отрицание дизъюнкции эквивалентно конъюнкции отрицаний.
4. $\overline{\overline{a}} = a$	Двойное отрицание эквивалентно утверждению.
5. $a \to b = \overline{a} \vee b$	Импликацию можно выразить через дизъюнкцию и отрицание первого числа.

Теперь мы можем доказать следующие эквивалентности.

$$1.\ \overline{A} = O,\ \text{т.е.}\ \overline{(\forall x)}(S(x) \to P(S(x)) = (\exists x)(S(x) \wedge (\overline{P(x)}).$$

$$2.\ \overline{E} = I,\ \text{т.е.}\ \overline{(\forall x)}(S(x) \to \overline{P(x)}) = (\exists x)(S(x) \wedge (P(x)).$$

$$3.\ \overline{I} = E,\ \text{т.е.}\ \overline{(\exists x)}(S(x) \wedge P(x)) = (\forall x)(S(x) \to (\overline{P(x)}).$$

$$4.\ \overline{O} = A,\ \text{т.е.}\ \overline{(\exists x)}(S(x) \wedge \overline{P(x)}) = (\forall x)(S(x) \to P(x)).$$

Предварительно заметим еще, что истинность (соответственно, ложность) высказывания не нарушится, если какую-нибудь часть его, также имеющую смысл высказывания, мы заменим эквивалентным ей высказыванием. Такое преобразование будем называть

[57] Под *a*, *b* здесь могут подразумеваться любые, сколь угодно сложные высказывания.

правилом замены равным или просто *правилом замены.* Напомним, что знак отрицания над квантором означает отрицание всего суждения в целом.

Выписываем левую часть эквивалентности № 1 и путем ряда последовательных замен эквивалентным приводим ее к тому виду, который имеет правая часть. Каждый шаг вывода может быть осуществлен на основании какого-то одного правила (или закона). Эти правила записаны справа за вертикальной чертой:

$\overline{(\forall x)}(S(x) \to P(x)) =$ $= (\exists x)\overline{(S(x) \to P(x))} =$ $= (\exists x)(S(x) \wedge \overline{P(x)}).$	$\overline{(\forall x)}Q(x) = (\exists x)\overline{Q(x)}$ $\overline{a \to b} = a \wedge \overline{b}$, где за a берем $S(x)$, а за b берем $P(x)$; правило замены.
Итак, $\overline{(\forall x)}(S(x) \to P(x)) =$ $= (\exists x)(S(x) \wedge \overline{P(x)}).$	

Интуиционистская логика

Интуиционистская логика была построена в связи с развитием интуиционистской математики. Интуиционистская школа основана в 1907 г. голландским математиком и логиком Л. Брауэром (1881 — 1966)[58], но некоторые ее идеи выдвигались и ранее.

Интуиционизм — философское направление в математике и логике, отказывающееся от использования абстракции актуальной бесконечности, отвергающее логику как науку, предшествующую математике, и рассматривающее интуитивную ясность и убедительность («глобальную интуицию») как последнюю основу математики и логики. Интуиционисты строят свою математику с помощью финитных (конечных) средств на основе системы натуральных чисел, которая счита-

[58] См.: *Brouwer L.E.J.* Intuitionism and Formalism // Bulletin of American Mathematical Society. 1913. Vol. 20; The Effect of Intuitionism on Classical Algebra of Logic // Proceedings of the Royal Irish Academy. 1955. Vol. 57. P. 113—116.

ется понятной на основе интуиции. Необходимо отметить, что интуиционизм включает в себя две стороны — философскую и математическую.

Математическое содержание интуиционизма изложено в ряде работ математиков. Ведущие представители отечественной школы конструктивной математики отмечают положительное значение многих математических идей интуиционистов.

Если математический аспект интуиционизма имеет рациональный смысл (в этой связи предпочтительнее говорить об интуиционистской математике или интуиционистской логике, а не об интуиционизме), то второй его аспект — философско-методологический — весьма спорен.

Так, Брауэр считал, что чистая математика представляет собой свободное творение разума и не имеет никакого отношения к опытным фактам. У интуиционистов единственным источником математики оказывается интуиция, а критерием приемлемости математических понятий и выводов является «интуитивная ясность». Однако видный интуиционист Гейтинг честно признавал тот факт, что само понятие интуитивной ясности в математике не является интуитивно ясным.

С точки зрения многих математиков, основой происхождения математики в конечном итоге является не какая-то «интуитивная ясность», а отражение в сознании пространственных форм и количественных отношений действительного мира.

Еще в 1936 г. выдающийся отечественный математик А.Н. Колмогоров подверг критике философские основы интуиционизма, заявив, что невозможно согласиться с интуиционистами, когда они говорят, что математические объекты являются продуктом только конструктивной деятельности нашего сознания. С его точки зрения математические объекты являются абстракциями реально существующих форм независимой от нашего сознания действительности.

Особенности интуиционистской логики вытекают из характерных признаков интуиционистской математики.

В современной классической математике часто прибегают к косвенным доказательствам. Но их почти невозможно ввести в интуиционистскую математику и логику, так как там не признаются закон исключенного третьего и закон $\overline{\overline{a}} \to a$, которые участвуют в косвенных доказательствах. Но закон непротиворечия представители как интуиционистской, так и конструктивной логики считают неограниченно применимым.

Закон исключенного третьего для бесконечных множеств в интуиционистской логике не проходит потому, что $p \vee \overline{p}$ требует общего метода, который по произвольному высказыванию p позволил бы получать доказательство p, либо доказательство отрицания p. Гейтинг считает, что так как интуиционисты не располагают таким методом, то они не вправе утверждать и принцип исключенного третьего. Покажем это на таком примере. Возьмем утверждение: «Всякое целое число, большее единицы, либо простое, либо сумма двух простых, либо сумма трех простых». Неизвестно, так это или не так в общем случае, хотя в рассмотренных случаях, которых конечное число, это так. Существует ли число, которое не удовлетворяет этому требованию? Мы не можем указать такое число и не можем вывести противоречие из допущения его существования.

Эта знаменитая проблема Х. Гольдбаха была поставлена им в 1742 г. и не поддавалась решению около 200 лет. Гольдбах высказал предположение, что всякое целое число, большее или равное шести, может быть представлено в виде суммы трех простых чисел. Для нечетных чисел это предположение было доказано только в 1937 г. математиком — академиком И.М. Виноградовым; все достаточно большие нечетные числа представимы в виде суммы трех простых чисел. Это — одно из крупнейших достижений современной математики.

Брауэр первый наметил контуры новой логики. Идеи Брауэра формализовал Гейтинг, в 1930 г. построивший интуиционистское исчисление предложений с использованием импликации, конъюнкции, дизъюнкции и отрицания на основе 11 аксиом и двух правил вывода — modus ponens и правила подстановки. Гейтинг утверждает, что хотя основные различия между классической и интуиционистской логиками касаются свойств отрицания, эти логики не совсем совпадают и в формулах без отрицания. Он отличает математическое отрицание от фактического: первое выражается в форме конструктивного построения (выполнения) определенного действия, а второе говорит о невыполнении действия («невыполнение» чего-либо не является конструктивным действием). Интуиционистская логика имеет дело только с математическими суждениями и лишь с математическим отрицанием, которое определяется через понятие противоречия, а понятие противоречия интуиционисты считают первоначальным, выражающимся или приводящимся к форме $1=2$. Фактическое отрицание не связано с понятием противоречия.

Проблемы интуиционистской математики подробно освещены в работах отечественных философов: К.Н. Суханова, М.И. Панова, А.Л. Никифорова и др.[59]

Конструктивная логика

Конструктивная логика, отличная как от логики классической, так и от интуиционистской, своим рождением обязана конструктивной математике. *Конструктивная математика* может быть кратко охарактеризована как абстрактная умозрительная наука о конструктивных процессах и нашей способности их осуществлять. В результате конструктивного процесса возникает конструктивный объект, т. е. такой объект, который задается эффективным (точным и вполне понятным) способом построения (алгоритмом).

Конструктивное направление (в математике и логике) ограничивает исследование конструктивными объектами и проводит его в рамках абстракции потенциальной осуществимости (реализуемости), т. е. игнорирует практическое ограничение наших возможностей построений в пространстве, времени, материале.

[59] См.: *Суханов К.Н.* Критический очерк гносеологии интуиционизма. М., 1973; *Никифоров А.Л., Петров Ю.А.* Логика и методология научного познания. М., 1982; *Панов М.И.* Методологические проблемы интуиционистской математики. М., 1984.

Между идеями конструктивной логики российских исследователей и некоторыми идеями интуиционистской логики (например, в понимании дизъюнкции, в отказе от закона исключенного третьего) имеются точки соприкосновения.

Однако между конструктивной и интуиционистской логиками имеются и *существенные отличия*.

1. **Различные объекты исследования**. В основу конструктивной логики, которая является логикой конструктивной математики, положена абстракция потенциальной осуществимости, а в качестве объектов исследования допускаются лишь конструктивные объекты (слова в определенном алфавите).

В основу интуиционистской логики, которая является логикой интуиционистской математики, положена идея «свободно становящейся последовательности», т. е. строящейся не по алгоритму, которую интуиционисты считают интуитивно ясной.

2. **Обоснование интуиционистской математики и логики** делается на основе полагания такой познавательной способности, как глобальная интуиция. Обоснование же конструктивной математики и логики дается на базе математического понятия алгоритма (например, нормального алгоритма А.А. Маркова) или эквивалентного ему понятия рекурсивной функции.

3. **Различные методологические основы**. Методологической основой конструктивного направления в математике является признание практики источником познания и критерием его истинности (в том числе и научного).

Интуиционисты же считают источником формирования математических понятий и методов первоначальную «интуицию», а критерием истинности в математике — «интуитивную ясность».

Конструктивные исчисления высказываний В.И. Гливенко и А.Н. Колмогорова

Первыми представителями конструктивной логики были математики А.Н. Колмогоров (1903—1987) и В.И. Гливенко (1897—1940). Первое исчисление, не содержащее закон исключенного третьего, было предложено в 1925 г. А.Н. Колмогоровым в связи с его критикой концепции Л. Брауэра, а в дальнейшем развито В.И. Гливенко. Позже было опубликовано исчисление Гейтинга, которое Колмогоров интерпретировал как исчисление задач, что породило содержательное истолкование исчислений, не пользующихся законом исключенного третьего, а это, в свою очередь, легло в основу всех дальнейших, подлинно научных исследований таких исчислений.

Введя понятия «псевдоистинность» (математика псевдоистинности»), Колмогоров доказал, что всякий вывод, полученный с помощью закона исключенного третьего, верен, если вместо каждого суждения, входящего в его формулировку, поставить суждение, утверждающее его двойное отрицание. Тем самым он показал, что в «математике псевдоистинности» законно применение принципа исключенного третьего.

Колмогоров различает две логики суждений — общую и частную. Различие между ними заключается в одной аксиоме $\overline{\overline{A}} \to A$, которая имеется лишь среди аксиом частной логики. Интересна диалектика соотношения содержания и областей применения этих логик: содержание частной логики суждений богаче, чем общей, так как частная логика дополнительно включает аксиому $\overline{\overline{A}} \to A$, но область применения ее у́же. *Из системы частной логики можно вывести все формулы традиционной логики суждений.*

Какова же область применения частной логики суждений? Все ее формулы верны для суждения типа $A^{\bullet}$, в том числе для всех финитных и для всех отрицательных суждений, т. е. область применимости ее совпадает с областью применимости формулы двойного отрицания $\overline{\overline{A}} \to A$. (Символами $A^{\bullet}$, $B^{\bullet}$ ... обозначены произвольные суждения, для которых из двойного отрицания следует само суждение.)

Конструктивная логика А.А. Маркова

Проблема конструктивного понимания логических связок, в частности отрицания и импликации, требует применения в логике специальных точных формальных языков. В основе конструктивной математической логики А.А. Маркова (1903 – 1979) лежит идея *ступенчатого построения формальных языков*. Сначала вводится формальный язык $Я_0$, в котором предложения выражаются по определенным правилам в виде формул; в нем имеется определение смысла выражения этого языка, т. е. семантика. Правила вывода позволяют, исходя из верных предложений, всегда получать верные предложения.

В конструктивной математике формулируются теоремы существования, утверждающие, что существует объект, удовлетворяющий таким-то требованиям. Под этим подразумевается, что построение такого объекта потенциально осуществимо, т. е. что мы владеем способом его построения. Это конструктивное понимание высказываний о существовании отличается от классического. В конструктивной математике и логике иной является и трактовка дизъюнкции, которая понимается как осуществимость указания ее верного члена. «Осуществимость» означает потенциальную осуществимость конструктивного процесса, дающего в результате один из членов дизъюнкции, который должен быть истинным. Классическое же понимание дизъюнкции не предполагает нахождения ее истинного члена.

Новое понимание логических связок требует новой логики. Мы считаем утверждение А.А. Маркова о неединственности логики верным и весьма глубоким[60].

В конструктивную математическую логику А.А. Марков вводит понятие «разрешимое высказывание» и связанное с ним понятие «прямое отрицание». В логике А.А. Маркова имеется и другой вид отрицания — усиленное отрицание, относящееся к так называемым полуразрешимым высказываниям.

Кроме материальной и усиленной импликации, при становлении истинности которых приходится заботиться об истинности посылки и заключения, А.А. Марков

[60] См.: *Марков А.А.* О логике конструктивной математики // Вестник МГУ. Серия «Математика, механика». 1970. № 2. С. 13.

вводит дедуктивную импликацию, определяемую по другому принципу. Дедуктивная импликация «если A, то B» выражает возможность выведения B из A по фиксированным правилам, каждое из которых в применении к верным формулам дает верные формулы. Всякое высказывание, выводимое из истинного высказывания, будет истинным.

Через дедуктивную импликацию А.А. Марков определяет редукционное отрицание (reductio ad absurdum).Редукционное отрицание высказывания A (сформулированного в данном языке) понимается как дедуктивная импликация «если A, то Λ», где через Λ обозначен абсурд. Это определение отрицания соответствует обычной практике рассуждений математика: математик отрицает то, что можно привести к абсурду. Для установления истинности редукционного отрицания высказывания не требуется вникать в его смысл. Высказывание, для которого установлена истинность редукционного отрицания, не может быть истинным.

Эти три различных понимания отрицания не вступают в конфликт друг с другом, они согласованы, что, по мнению А.А. Маркова, даст возможность объединить все эти понимания отрицания.

Показательно такое обстоятельство. А.А. Марков строит свои конструктивные логические системы для обоснования конструктивной математики таким образом, что у него получается *не одна законченная система, а целая иерархия систем*. Это система языков $Я_0$, $Я_1$, $Я_2$, $Я_3$, $Я_4$, $Я_5$, ..., $Я_n$ (где n — натуральное число) и объемлющего их языка Яw; после Яw строится язык Яw|[61].

Итак, мы склонны думать, что развивающуюся конструктивную логику и математику невозможно вместить в одно формальное исчисление, для этого нужда система, состоящая из целой иерархии систем, в которой будет иерархия отрицаний.

Проблемами конструктивной логики и теории алгорифмов занимается в настоящее время известный отечественный математик Н.М. Нагорный. В 1984 г.

[61] См.: Доклады АН СССР. 1974. Т. 214. № 1—6; Т. 215. № 1.

вышла фундаментальная монография А.А. Маркова и Н.М. Нагорного «Теория алгорифмов». В аннотации написано: «В книге на основе понятия нормального алгорифма излагается общая теория алгорифмов и некоторые ее применения. Значительное внимание уделяется логическим и, в частности, семантическим аспектам этой теории»[62].

Выдающийся отечественный математик, академик П.С. Новиков, читавший лекции по конструктивной математической логике на механико-математическом факультете в 1955 г., в своей фундаментальной монографии «Конструктивная математическая логика с точки зрения классической» главу II называет так: «Конструктивная (интуиционистская) логика высказываний». В этой главе § 2 называется «Конструктивное (интуиционистское) исчисление высказываний». П.С. Новиков пишет: «Логика, к изучению которой мы теперь переходим, называется *интуиционистской* или *конструктивной*»[63]. Однако это терминологическое двойное обозначение, которым пользовались ранее и некоторые математики, и некоторые философы для конструктивной математической логики, затем было уточнено, и они не стали писать «конструктивная (интуиционистская) логика», ибо хотя эти два разных направления и имеют сходство, однако они имеют и существенные отличия, о трех из которых было сказано выше.

Многозначные логики

В отличие от классической, двузначной логики в многозначных логиках число значений истинности аргументов и функций для высказываний может быть любым конечным (больше двух) и даже бесконечным. В настоящем разделе статьи используются так называемая польская запись, которую применял Лукасевич, и обычная, применяемая в двузначной логике: отрица-

[62] *Марков А.А., Нагорный М.Н.* Теория алгорифмов. М., 1984. С. 1.

[63] *Новиков П.С.* Конструктивная математическая логика с точки зрения классической. М., 1977. С. 48.

ние обозначается через Nx или $\bar{x}$, конъюнкция — через Kxy или $x \wedge y$, нестрогая дизъюнкция — через Axy или $x \vee y$, материальная импликация — через Cxy или $x \rightarrow y$. Значение функции от аргумента a записывается так: $[a]$. *Тавтологией* (или общезначимой, или законом логики, или тождественно-истинной) называется формула, которая при любых комбинациях значений входящих в нее переменных принимает выделенное (или отмеченное)значение; как правило, это значение «истина» (чаще всего в рассматриваемых системах «истина» обозначается цифрой 1).

Развитие многозначных логик подтверждает мысль, что истина всегда конкретна, а также положение об относительном характере конкретно-научных знаний: то, что является тождественно-истинным в одной логической системе, не оказывается тождественно-истинным в другой[64].

Трехзначная система Лукасевича

Трехзначная пропозициональная логика (логика высказываний) была построена в 1920 г. польским математиком и логиком Я. Лукасевичем (1878 – 1956)[65]. В ней «истина» обозначается 1, «ложь» — 0, «нейтрально» — $^1/_2$. В качестве основных функций взяты отрицание (Nx) и импликация (Cxy); производными являются конъюнкция (Kxy) и дизъюнкция (Axy). Тавтология принимает значение 1.

Отрицание и импликация соответственно определяются матрицами таблицами) так.

Импликация Лукасевича

$x \backslash y$	1	½	0
1	1	½	0
½	1	1	½
0	1	1	1

[64] *Lukasiewicz J.* O pojeciu mozliewosci // Buch Filozoficzny. Lwow, 1920. Vol. 5. N 9.

[65] См.: *Зиновьев А.А.* Философские проблемы многозначной логики. М., 1960.

Отрицание Лукасевича

X	Nx
1	0
½	½
0	1

$$[Nx] = 1 - [x]$$

Конъюнкция определяется как минимум значений аргументов: $[Kxy] = \min([x], [y])$; дизъюнкция — как максимум значений x и y $[Axy] = max([x], [y])$.

Пользование таблицей для импликации Лукасевича, выраженной в форме $x \to y$, происходит так. Слева в первой колонке написаны значения для x, а сверху — значения для y. Возьмем, например, $[x] = ½$ (т. е. значение для x, равное ½), а $[y] = 0$, получаем импликацию $½ \to 0$. На пересечении получаем результат ½.

Если в формулу входит одна переменная, как, например, в случае формулы $a \vee \bar{a}$, то таблица истинности для этой формулы, включающая все возможные значения истинности, или ложности, или неопределенности ее переменной в таблице, будет состоять из $3^1 = 3$ строки; при двух переменных в таблице будет $3^2 = 9$ строк; при трех переменных в таблице имеем $3^3 = 27$ строк; при n переменных будет 3^n строк.

Покажем, как происходит доказательство для формул $a \vee \bar{a}$ (закон исключенного третьего) и для $\overline{a \wedge \bar{a}}$ (закон непротиворечия), содержащих одну переменную, т. е. a. В таблице будет всего $3^1 = 3$ строки.

Для доказательства формулы $a \vee \bar{a}$ используем знание о том, что дизъюнкция берется по максимуму. В третьей колонке, соответствующей $a \vee \bar{a}$, видим, что вместе со значениями 1 есть значение ½. Следовательно, эта формула не есть закон логики. Аналогично строятся колонки 4 и 5, только соблюдая условие, что конъюнкция берется по минимуму значений. Формула $a \wedge \bar{a}$ также не является законом логики.

a	$\bar{a}$	$a \vee \bar{a}$	$a \wedge \bar{a}$	$\overline{a \wedge \bar{a}}$
1	0	1	0	1
½	½	½	½	½
0	1	1	0	1

Теперь посмотрим, является ли законом логики формула $(x \to (\bar{y} \wedge y)) \to \bar{x}$, содержащая две переменные x и y. В таблице будет $3^2 = 9$ строк. Распределение значений истинности для x и y показано в первой и второй колонках (см. табл. 1).

Вывод: так как в последней колонке встречается два раза значение неопределенности (т. е. ½), то данная формула не является законом логики.

На основе данных определений отрицания, конъюнкции и дизъюнкции Лукасевича не будут тавтологиями (законами логики) закон непротиворечия и закон исключенного третьего двузначной логики. В системе Лукасевича не являются тавтологиями и отрицания законов непротиворечия и исключенного третьего двузначной логики. *Поэтому логика Лукасевича не является отрицанием двузначной логики*. В логике Лукасевича тавтологиями являются: правило снятия двойного отрицания, все четыре правила де Моргана и правило контрапозиции: $a \to b \equiv \bar{b} \to \bar{a}$. Не являются тавтологиями правила приведения к абсурду двузначной логики; $(x \to \bar{x}) \to \bar{x}$ и $(x \to (\bar{y} \wedge y)) \to \bar{x}$ (т. е. если из x вытекает противоречие, то из этого следует отрицание x). Это было доказано (см. табл. 1).

Таблица 1

x	y	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{y} \wedge y$	$x \to (\bar{y} \wedge y)$	$(x \to (\bar{y} \wedge y)) \to \bar{x}$
1	1	0	0	0	0	1
1	½	0	½	½	½	½
1	0	0	1	0	0	1
½	1	½	0	0	½	1
½	½	½	½	½	1	½
½	0	½	1	0	½	1
0	1	1	0	0	1	1
0	½	1	½	½	1	1
0	0	1	1	0	1	1

В системе Лукасевича не являются тавтологиями и некоторые формулы разделительно-категорического силлогизма с нестрогой дизъюнкцией.

Все тавтологии логики Лукасевича являются тавтологиями в двузначной логике, ибо если отбросить значение ½, то в логике Лукасевича и в двузначной логике определение функций конъюнкции, дизъюнкции, импликации и отрицания соответственно совпадут. Но так как в логике Лукасевича имеется третье значение истинности — ½, то не все тавтологии двузначной логики являются тавтологиями в логике Лукасевича.

Трехзначная система Гейтинга

В двухзначной логике из закона исключенного третьего выводятся: 1) $\bar{\bar{x}} \to x$; 2) $x \to \bar{\bar{x}}$. Исходя из утверждения, что истинным является лишь второе, нидерландский логик и математик А. Гейтинг (1898 – 1980) разработал трехзначную пропозициональную логику. В этой логической системе импликация и отрицание отличаются от определений этих операций у Лукасевича лишь в одном случае. «Истина» обозначается 1, «ложь» — 0, «неопределенность» — ½. Тавтология принимает значение 1.

Импликация Гейтинга

x \ y	1	½	0
1	1	½	0
½	1	1	0
0	1	1	1

Отрицание Гейтинга

x	Nx
1	0
½	0
0	1

Конъюнкция и дизъюнкция определяются обычным способом как минимум и максимум значений аргументов.

Если учитывать лишь значения функций 1 и 0, то из матриц системы Гейтинга вычленяются матрицы *двузначной логики*. В этой трехзначной логике закон непротиворечия является тавтологией, но ни закон исключенного третьего, ни его отрицание тавтологиями не являются. Оба правильных модуса условно-категорического силлогизма, формула $(x \to y) \to (\bar{y} \to \bar{x})$, правила де Моргана и закон исключенного четвертого $(x \vee \bar{x} \vee \bar{\bar{x}})$ — тавтологии.

Хотя по сравнению с логикой Лукасевича в матрицах отрицания и импликации Гейтингом в его системе были произведены небольшие изменения, результаты оказались значительными: в системе Гейтинга являются тавтологиями многие формулы классического двузначного исчисления высказываний.

Среди современных отечественных логиков системами многозначных логик плодотворно занимается А.С. Карпенко[66].

m-значная система Поста (P_m)[67]

Система американского математика и логика Э. Л. Поста (1897—1954) является обобщением двузначной логики, ибо при $m = 2$ в качестве частного случая мы получаем двузначную логику. Значения истинности суть 1, 2, ..., m (при $m \geqslant 2$), где m — конечное число. Тавтологией является формула, которая всегда принимает выделенное значение, лежащее между 1 и $m - 1$, включая их самих.

Пост вводит два вида отрицания (N^1x и N^2x), соответственно называемые циклическим и симметричным. Они определяются путем матриц и посредством равенств. Первое отрицание определяется двумя равенствами:

1. $[N^1x] = [x] + 1$ при $[x] \leqslant m - 1$.
2. $[N^1m] = 1$.

---

[66] См.: *Карпенко А.С.* Матричная логика простых чисел // Сб. «Модальные и интенсиональные логики». М., 1962. С. 51—54; *Его же*. Фактор — семантика и классы многозначных систем логики // Сб. «Релевантные логики и теория следования». М., 1979. С. 67—75.

[67] См.: *Post E.L.* Introduction to a General Theory of Elementary Propositions // American Journal of Mathematics. 1921. Vol. 43. N 3.

Второе отрицание определяется одним равенством: $[N^2x] = m - [x] + 1$.

Характерной особенностью двух отрицаний Поста является то, что при $m = 2$ эти отрицания совпадают между собой и с отрицанием двузначной логики, что подтверждает тезис: многозначная система Поста есть обобщение двузначной логики.

x	N^1x	N^2x
1	2	m
2	3	$m-1$
3	4	$m-2$
4	5	$m-3$
.	.	.
.	.	.
.	.	.
$m-1$	m	2
m	1	1

Конъюнкция и дизъюнкция определяются соответственно как максимум и минимум значений аргументов. При указанных определениях отрицания, конъюнкции и дизъюнкции обнаруживается, что при значении для x, большем двух, законы непротиворечия и исключенного третьего, а также отрицание этих законов не являются тавтологиями.

Трехзначная система P_3 Поста имеет следующую указанную в таблицах форму. В этих таблицах приняты обозначения, введенные Постом при $m = 3$: первое отрицание обозначается через $(\sim_3 p)$, второе отрицание — через $(\approx_3 p)$, конъюнкция через $(p \cdot_3 q)$, дизъюнкция — через $(p \vee_3 q)$, импликация — через $(p \supseteq_3 q)$, эквиваленция — через $(p \equiv_3 q)$.

p	$\sim_3 p$	$\approx_3 p$
1	2	3
2	3	2
3	1	1
Пояснения	Первое отрицание	Второе отрицание

p \ q	$p \cdot_3 q$			$p \vee_3 q$			$p \supseteq_3 q$			$p \equiv_3 q$		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	2	3	1	1	1	1	2	3	1	2	3
2	2	2	3	1	2	2	1	2	2	2	2	2
3	3	3	3	1	2	3	1	1	1	3	2	1
Пояснения	max (p,q)			min (p,q)			$(\approx_3 p) \vee_3 q$			$(p \supseteq_3 q) \wedge_3 (q \supseteq_3 p)$		

Если в качестве значений истинности взяты лишь 1 «истина» и 3 «ложь», то из таблиц системы P_3 Поста вычленяются таблицы для отрицания, конъюнкции, дизъюнкции, импликации и эквиваленции двузначной логики.

В системе P_3 тавтология принимает значение 1; закон исключенного третьего не является тавтологией ни для первого, ни для второго отрицания Поста, но является тавтологией закон исключенного четвертого для первого отрицания.

Две бесконечнозначные системы Гетмановой: «Логика истины» и «Логика лжи»

Бесконечнозначная «Логика истины» как обобщение многозначной системы Поста

Исходя из m-значной системы Э.Л. Поста, автор этой статьи А.Д. Гетманова построила бесконечнозначную систему $G_{\aleph_0}$. В ней значениями истинности являются: 1 («истина»), 0 («ложь») и все дробные числа в интервале от 1 до 0, построенные в форме $(½)^k$ и в форме $(½)^k \cdot (2^k - 1)$, где k — целочисленный показатель. Иными словами, значениями истинности являются: 1, ½, ¼, ¾, ⅛, ⅞, $^1/_{16}$, $^{15}/_{16}$, ..., $(½)^k$, $(½)^k \cdot (2^k - 1)$, ..., 0.

Операции: отрицание, дизъюнкция, конъюнкция, импликация и эквиваленция в $G_{\aleph_0}$ — *определены следующими равенствами.*

1. Отрицание: $[\approx_{\aleph_0} p] = 1 - [p]$.
2. Дизъюнкция: $[p \vee_{\aleph_0} q] = \max([p],[q])$.
3. Конъюнкция: $[p \wedge_{\aleph_0} q] = \min([p],[q])$.
4. Импликация: $[p \supset_{\aleph_0} q] = [\approx_{\aleph_0} p \vee_{\aleph_0} q]$.
5. Эквиваленция: $[p \equiv_{\aleph_0} q] = [(p \supset_{\aleph_0} q) \wedge_{\aleph_0} (q \supset_{\aleph_0} p)]$.

Отрицание в системе $G_{\aleph_0}$ является обобщением второго (симметричного) отрицания m-значной логики Поста. Посредством именно этого отрицания строятся конъюнкция, импликация и эквиваленция. Система $G_{\aleph_0}$, построенная предложенным способом, имеет множество тавтологий. (Тавтология принимает значение 1.)

Тавтологии в бесконечнозначной «Логике истины» (т. е. в $G_{\aleph_0}$) являются тавтологиями в двухначной логике, ибо $G_{\aleph_0}$ является обобщением системы P_m Поста, а последняя есть обобщение двузначной логики. Из системы $G_{\aleph_0}$ вычленяются G_3, G_4, G_5, G_6,..., G_n, т. е. любая конечнозначная «Логика истины».

Об интерпретации системы $G_{\aleph_0}$

В системе $G_{\aleph_0}$ между крайними значениями истинности: 1 («истина») и 0 («ложь») лежит бесконечное число значений истинности: ½, ¼, ¾, ⅛, ⅞ и т. д. Процесс познания осуществляется таким образом, что мы идем от незнания к знанию, от неполного, неточного знания к более полному и точному, от относительной истины к абсолютной. Абсолютная истина (в узком смысле) складывается из бесконечной суммы относительных истин. Если значению истинности, равному 1, придать семантический смысл абсолютной истины, а значению 0 — значение лжи (заблуждения, отсутствия знания), то промежуточные значения истинности отразят процесс достижения абсолютной истины как бесконечный процесс, складывающийся из познания относительных истин, значениями которых в системе $G_{\aleph_0}$ являются ½, ¼, ¾, ⅛, ⅞ и т. д. Чем ближе значение истинности переменных (выражающих суждения) к 1, тем бо́льше степень приближения к асболютной истине. Так осуществляется процесс познания: от незнания к знанию, от явления к сущности, от сущности первого порядка к сущности второго порядка и т. д. Этот бесконечный процесс познания и отражает бесконечнозначная система $G_{\aleph_0}$, построенная автором как обобщение двузначной классической логики, характеризующей процесс познания в рамках оперирования лишь предельными значениями истинности — «истина» и «ложь». Такова семантическая интерпретация системы $G_{\aleph_0}$ («Логика "истины"»), вскрывающая ее роль в процессе познания истины.

Многозначные логики (в частности, система $G_{\aleph_0}$ — «Логика истины») могут применяться в социологии при моделировании систем с наличием элемента неопределенности. Простейшим примером применения трехзначной логики является голосование: «за», «против», «воздержался» или ответы на вопросы: «да», «нет», «затрудняюсь ответить». Более сложной методологической проблемой является применение многозначных логик при построении социологических анкет. Обычно предлагается ряд ответов на один вопрос: «да», «нет», «скорее да, чем нет», «скорее нет, чем да», «удовлетворен в значительной степени», «мало удовлетворен» и т. п. Они включают значительный элемент неопределенности, что затрудняет выявление мнения людей.

Автор считает возможным использовать многозначные логики с различными значениями истинности, т. е. 7, или 9, или 11-значные логики. Составляющий анкету должен предусмотреть точные оценки, которые даст сам человек, работающий с анкетой. Например, в 9-значной логике значения истинности такие:

$$1, \frac{15}{16}, \frac{7}{8}, \frac{3}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}, 0.$$

При ответе на вопрос: «Удовлетворены ли Вы своим трудом?», если человек полностью согласен, то он напишет 1; если же он полностью не удовлетворен, то напишет значение 0; если он почти согласен (удовлетворен), то напишет либо $\frac{15}{16}$, либо $\frac{7}{8}$; если же он почти не удовлетворен, то напишет $\frac{1}{16}$ или $\frac{1}{8}$. Если он не знает ответа или думает неопределенно, то напишет $\frac{1}{2}$.

При обработке информации на ЭВМ на основе данных числовых характеристик ответов можно получить более точные знания о мнении в репрезентативной выборке любого вида (стихийной, квотной, вероятностной и других, когда применяется неполная индукция), или во всей генеральной совокупности (т. е. при сплошном обследовании, когда применяется полная индукция).

В 1992 г. мною была построена система $L_{\aleph_0}$ («Логика лжи»). В данной работе осуществлено объединение двух систем в единую бесконечнозначную систему. Бесконечнозначная система $G_{\aleph_0} - L_{\aleph_0}$ представляет процесс познания, который идет от неопределенности, обозначенной через 0, либо в сторону истины (обозначенной через $+1$), либо в сторону лжи (заблуждения), обозначенной через -1. В своих крайних проявлениях это — абсолютная истина (т. е. $+1$) или абсолютная ложь, доходящая до абсурда (т. е. -1). В интервале между $+1$ и -1 лежит бесконечное множество значений истинности, выраженных дробными числами, построенными в форме $\pm\left(\frac{1}{2}\right)^k$ и в форме $\pm\left(\frac{1}{2}\right)^k \cdot (2^к - 1)$, где к — целочисленный показатель.

Иными словами, значениями истинности являются числа:

$$\pm 1, \pm\frac{1}{2}, \pm\frac{1}{4}, \pm\frac{1}{8}, \pm\frac{7}{8}, \pm\frac{1}{16}, \pm\frac{15}{16}, \ldots, \pm\left(\frac{1}{2}\right)^k, \pm\left(\frac{1}{2}\right)^k \cdot \left(2^k - 1\right), \ldots, 0.$$

Логические операции: отрицание, дизъюнкция, конъюнкция, импликация и эквиваленция в объединенной системе $G_{\aleph_0} - L_{\aleph_0}$ («Логика истины — логика лжи») определены следующими равенствами.

1. Отрицание: $[\backsimeq_{\aleph_0} p] = \pm 1 - [p]$.
2. Дизъюнкция: $[p \vee_{\aleph_0} q] = \max([p],[q])$.
3. Конъюнкция: $[p \wedge_{\aleph_0} q] = \min([p],[q])$.
4. Импликация: $[p \supset_{\aleph_0} q] = [\backsimeq_{\aleph_0} p \vee_{\aleph_0} q]$.
5. Эквиваленция: $[p \equiv_{\aleph_0} q] = [(p \supset_{\aleph_0} q) \wedge_{\aleph_0} (q \supset_{\aleph_0} p)]$.

Здесь знак $\aleph_0$ (алеф-ноль) обозначает счетную бесконечность. Отрицание в системе $G_{\aleph_0} - L_{\aleph_0}$ является обобщением второго (симметричного) отрицания m-значной логики Поста.

Тавтология в системе $G_{\aleph_0} - L_{\aleph_0}$ принимает значение $+1$. Заметим, что ранее, в системе $G_{\aleph_0}$ («Логика истины») тавтология принимала значение 1, а в системе $L_{\aleph_0}$ («Логика лжи») тавтология принимала значение 0. В единой системе $G_{\aleph_0} - L_{\aleph_0}$ обозначение иное (иная интерпретация значения 0); а именно: 0 обозначает неопределенность, промежуточное значение между -1 (заблуждением, ложью) и $+1$ (истиной), поэтому тавтология не может принимать значение 0.

Любой человек в процессе познания, например, поиска правильного решения выхода из сложной ситуации, сталкивается с неопределенностью, обозначенной нами 0. Процесс познания осуществляется таким образом, что мы идем от незнания к знанию, затем от неполного, неточного знания, приобретая новую информацию, к более полному и точному, от относительной истины к абсолютной. Абсолютная истина (в узком смысле) складывается из бесконечной суммы относительных истин. Так осуществляется процесс познания: от незнания к знанию, от явления к сущности, от сущности первого порядка к сущности второго порядка и т. д. Этот бесконечный процесс познания и отражает бесконечнозначная система $G_{\aleph_0}$, построенная автором как обобщение двузначной классической логики, характеризующей процесс познания в рамках оперирования лишь предельными значениями истинности — «истина» и «ложь».

В новой единой (объединенной системе) $G_{\aleph_0} - L_{\aleph_0}$ отражены две ветви (два направления) в процессе познания:

1) от неопределенности, обозначенной 0, человек продвигается в сторону истины, обозначенной $+1$, т. е. достигает правильного решения, правильного выхода из создавшейся ситуации, ставит правильный диагноз, в ходе расследования преступления выдвигает истинные версии и проверяет их, строит в высокой степени правдоподобные гипотезы, производит оптимальное планирование и дает прогноз экономических, экологических, социальных, политических и других процессов, иными словами, движется в сторону истины;

2) но в реальной жизни человек часто, не имея достаточной информации, не обладая методами ее обработки, в силу своих психологических особенностей и многих других причин, пойдет в сторону заблуждения, т. е. от неопределенности (обозначенной 0) «двинется» влево, к -1 (лжи, заблуждению, ошибкам). В результате человек приходит к ложным суждениям — в юридической деятельности (неверно построенные версии), в медицинской практике (постановка ошибочного диагноза или неверного способа лечения больного), в научном творчестве (выдвижение ложных гипотез) и ошибкам в других сферах человеческой деятельности. Степень заблуждения бывает различной и может доходить до абсурда. Причем процесс возможного заблуждения потенциально бесконечен, что отражено в системе $G_{\aleph_0} - L_{\aleph_0}$ в ее левой части, обозначаемой значениями истинности от 0 (неопределенности) до -1 (абсолютной лжи). Причины заблуждения многочисленны: умышленная дезинформация, незнание объекта исследования, неправильное истолкование результатов эксперимента, допущение логических ошибок, попадание (введение) в компьютер противоречивой информации и многие другие причины.

Из бесконечнозначной системы $G_{\aleph_0} - L_{\aleph_0}$ вычленяются следующие логические системы.

1. Конечнозначные системы G_2 (двузначная классическая логика), G_3, G_4, G_5, G_6, ..., G_m, то есть любая конечнозначная «Логика истины».

2. Конечнозначные системы L_3, L_4, L_5, L_6, ..., L_m, то есть любая конечнозначная «Логика лжи».

3. Объединенные конечнозначные логики $G_m - L_m$ («Логика истины — логика лжи»), то есть любая конечнозначная система $G_3 - L_3$, $G_4 - L_4$, $G_5 - L_5$, $G_6 - L_6$, ..., $G_m - L_m$.

Автор, а затем его аспиранты и студенты построили:

1) Исходя из бесконечнозначной «Логики истины» $G_{\aleph 0}$ семизначную «Логику истины» (G_7).

2) Из бесконечнозначной «Логики лжи» $L_{\aleph_0}$ семизначную «Логику лжи» (L_7).

3) Объединив обе системы G_7 и L_7, построили объединенную систему $G_7 - L_7$. Обнаружена поразитель-

ная симметричность при табличном построении системы $G_7 - L_7$. Применив семь цветов радуги, раскрасив в таблице каждое значение истинности своим цветом, можно получить четкую, обозримую и красивую схему.

Дитрих Дернер — автор книги «Логика неудачи» (М., 1997), крупнейший немецкий психолог, специалист в области исследований мышления. В аннотации книги, ставшей европейским бестселлером, написано: «Представлены материалы многолетних исследований реального мышления в сложных практических ситуациях с помощью специально разработанных компьютерных игр. В книге главное внимание уделено разбору часто встречающихся в повседневности мыслительных ошибок. Автор не только вскрывает их природу, но и намечает пути повышения эффективности практического интеллекта».

Дитрих Дернер как психолог в содержательном аспекте исследовал «Логику неудачи» (а в нашей терминологии это «Логика лжи»). Наше же исследование этого направления в мышлении проведено средствами современных (бесконечнозначных) логик. Мы надеемся, что содержательный и формализованный аспекты взаимодополняют друг друга.

Сошлемся на статью российского математика Н.К. Косовского «Обобщение логики Гетмановой на предикаты и секвенции», в которой дано обобщение нашей бесконечнозначной «Логики истины» с помощью исчисления предикатов и с помощью секвенции[68].

Паранепротиворечивые логики

Одним из направлений современной неклассической математической логики являются *паранепротиворечивые логики*. Объективными основами их появления является стремление отразить средствами логики специфику мышления человека о переходных состояниях, которые (наряду с устойчивостью и относитель-

[68] Научная конференция «Современная логика: проблемы теории, истории и применения в науке». Тезисы докладов. Ч. I: Современные направления логических исследований. СПб., 1994. С. 28—30.

ным покоем) наблюдаются в природе, обществе и познании. В природе и обществе происходят изменения, предметы и их свойства переходят в свою противоположность, поэтому нередки переходные состояния, промежуточные ситуации, неопределенность в познании, переход от незнания или неполного знания к более полному и точному. Действие законов двузначной логики — закона исключенного третьего и закона непротиворечия — в этих ситуациях ограничено или вообще неприменимо.

В определенном временно́м интервале в паранепротиворечивых логиках допускается истинность как высказывания А, так и не-А. Кроме этого, мышление имеет дело с так называемыми нечеткими понятиями (нежесткими, расплывчатыми, размытыми), отражающими нежесткие множества, концепция которых предложена в 1965 г. американским математиком Л. Заде. Паранепротиворечивые логики — логические исчисления, которые могут лежать в основе противоречивых формальных теорий.

Противоречивые данные возникают в судебных заседаниях, дискуссиях, полемике, постановке диагноза болезни, в научных теориях (прежних и новых), в ситуациях, связанных с решением политических, экономических, нравственных проблем и в других сферах интеллектуальной деятельности. В связи с этим встала проблема создания информационной системы, работающей с противоречивыми данными.

Предшественниками паранепротиворечивых логик явились русский логик Н.А. Васильев и польский логик Я. Лукасевич. Паранепротиворечивая логика разрабатывается в работах польского логика С. Яськовского, в трудах бразильского математика Н. да Коста и др. ученых. Эта логика должна удовлетворять следующим условиям: 1) из двух противоречащих формул А и ШA в общем случае нельзя вывести произвольную формулу В. 2) Дедуктивные средства классической логики должны быть максимально сохранены, поскольку они — основа всех обычных рассуждений.

Интересны и оригинальны статьи американского математика Н. Белнапа — «Как нужно рассуждать компьютеру» (1976 г.) и «Об одной полезной четырехзначной логике» (1976 г.), посвященные формализации общения с информационными системами, в которых содержится противоречивая информация. Н. Белнап отмечает, что входные данные поступают в компьютер из нескольких независимых источников, и в таких условиях проявляется угроза противоречивости информации. Что в таком случае должен делать компьютер, особенно если в системе содержится необнаруженное противоречие? Свою четырехзначную логику он и предлагает в качестве практического руководства в рассуждениях[69].

Итак, возможно наличие очень сильных противоречивых, но нетривиальных (т. е. паранепротиворечивых) теорий. Паранепротиворечивые логики связаны с многозначными логиками, в которых закон непротиворечия двузначной логики также не является тождественно-истинной формулой (тавтологией).

Законы исключенного третьего и непротиворечия в неклассических логиках (многозначных, интуиционистской, конструктивных)

Специфика действия закона исключенного третьего при наличии «неопределенности» в познании проявляется в том, что закон этот применяется там, где познание имеет дело с жесткой ситуацией: или — или, истина — ложь. Во многих неклассических логических системах формулы, соответствующие законам исключенного третьего и непротиворечия, не являются тавтологиями.

Ниже приведена таблица, в которой знаком «+» обозначено то, что в указанной слева логической системе закон непротиворечия и закон исключенного третьего, т. е. формулы $\overline{a \vee \bar{a}}$ и $a \vee \bar{a}$, являются тавтологиями (или выводимыми формулами), и соответственно знаком «–», если формулы не являются тавтологиями. Рассмот-

[69] См.: *Белнап Н., Стил Т.* Логика вопросов и ответов. М., 1981. С. 208–215.

рено, кроме того, отрицание закона непротиворечия, выражающееся формулой $\overline{\overline{a \wedge \bar{a}}}$, и отрицание закона исключенного третьего, выражающееся формулой $\overline{a \vee \bar{a}}$. В этих формулах имеется в виду та форма отрицания, которая принята в указанной логической системе.

Вид логической системы	Закон исключенного третьего $a \vee \bar{a}$	Закон непротиворечия $\overline{a \wedge \bar{a}}$	Отрицание закона исключенного третьего $\overline{a \vee \bar{a}}$	Отрицания закона непротиворечия $\overline{\overline{a \wedge \bar{a}}}$	Формальное противоречие $a \wedge \bar{a}$
1. Двузначная классическая логика	+	+	–	–	–
2. Трехзначная логика Лукасевича	–	–	–	–	–
3. Трехзначная логика Гейтинга	–	+	–	–	–
4. Трехзначная логика Рейхенбаха: а) циклическое отрицание	–	–	–	–	–
б) диаметральное отрицание	–	–	–	–	–
в) полное отрицание	+	+	–	–	–
5. m-значения логики Поста: а) первое отрицание	–	–	–	–	–
б) второе отрицание	–	–	–	–	–
6. Конструктивная логика Маркова	–	+	–	–	–
7. Конструктивная логика Гливенко	–	+	–	–	–
8. Конструктивная логика Колмогорова	–	+	–	–	–
9. Интуиционистская логика Гейтинга	–	+	–	–	–

В интуиционистской и конструктивных логиках закон исключенного третьего для бесконечных множеств «не работает». Осуществимость в конструктивной математике понимается как потенциальная осуществимость конструктивного процесса, дающего в результате один из членов дизъюнкции, который должен быть истинным. Но так как для бесконечных множеств нет алгоритма распознавания, что является истинным: *а* или *не-а*, то конструктивная логика отвергает закон исключенного третьего в пределах конструктивной математики.

Итак, из таблицы видно, что формула $a \vee \overline{a}$, соответствующая закону исключенного третьего, из рассмотренных 12 видов отрицания не является тавтологией, или доказуемой формулой, для 10 видов.

Специфика закона непротиворечия в неклассических логиках

В результате исследования 9 формализованных логических систем выявлено, что из 12 приведенных видов отрицания для 7 видов закон непротиворечия является тавтологией (или доказуемой формулой), для остальных же 5 закон непротиворечия тавтологией (доказуемой формулой) не является. По сравнению с законом исключенного третьего закон непротиворечия более устойчив.

Закон непротиворечия не является тавтологией во многих многозначных логиках. В классической, интуиционистской и конструктивных логиках закон непротиворечия, наоборот, признается неограниченно действующим. Причина в том, что в многозначных логиках число значений истинности может быть как конечным (бóльшим 2), так и бесконечным. В логических системах, в которых отражена жесткая ситуация, «или-или» (истина — ложь), закон непротиворечия и закон исключенного третьего — тавтологии. Но это предельные случаи в познании (истина или ложь). Если же в процессе познания мы еще не достигли истины или еще не опровергли какое-либо утверждение (доказав его ложность), то нам приходится оперировать не истинными или ложными, а неопределенными суждениями.

Классическая двузначная логика должна быть дополнена многозначными логиками, в частности бесконечнозначной логикой, которая применима в процессе рассуждения об объектах, отражаемых в понятиях с нефиксированным объемом, и бесконечное число значений истинности которой лежит в интервале от 1 до 0.

Совсем другие ситуации в познании отражены в конструктивных и интуиционистской логиках: конструктивный процесс или имеется (осуществляется), или его нет, но то и другое не может иметь места одновременно по отношению к одному и тому же конструктивному объекту или процессу, поэтому закон непротиворечия в этих логиках действует неограниченно. В конструктивных логиках приняты абстракции, отличные от тех, которые приняты в многозначных логиках. В конструктивных и интуиционистской логиках принимаются лишь два значения истинности — истина и ложь, доказуемо (выводимо) или недоказуемо (невыводимо), поэтому закон непротиворечия — выводимая формула.

Однако независимо от того, является ли закон непротиворечия в той или иной логической системе тавтологией или не является, сами логические системы строятся непротиворечиво: иными словами, метатеория (металогика) построения формализованных систем подчиняется закону непротиворечия, иначе такие системы были бы бесполезными, так как в них было бы выводимо все что угодно — как истина, так и ложь.

Очень важным в гносеологическом и логическом плане результатом является то, что закон непротиворечия и закон исключенного третьего нельзя опровергнуть, так как отрицание этих законов ни в одной из известных форм, ни в одной из исследованных автором 18 логических систем не является тавтологией (или выводимой, доказуемой формулой), что свидетельствует об их фундаментальной роли в познании. Закон непротиворечия — один из основных законов правильного человеческого мышления — устойчив, его нельзя опровергнуть и заменить другим, в противном случае стерлось бы различие в познании между истиной как его целью и ложью.

Единство логики

Существование в современной логике различных ее видов и направлений отнюдь не означает отсутствия их единства.

Покажем единство рассмотренных выше различных направлений современной логики (двузначной, многозначной, модальной, конструктивной и др.).

Взаимосвязь логических систем внутри одного направления логики

1. Классическая логика

Основными исчислениями классической математической логики являются: 1) исчисление высказываний и 2) исчисление предикатов. Первое полностью включено во второе. Во втором добавлены правила, определяющие оперирование кванторами (квантор общности и квантор существования). Существуют различные способы построения классической логики (Гентцена, исчисление Жегалкина и др.).

2. Многозначные логики

Внутри этого направления неклассических логик имеются трехзначные, четырехзначные, m-значная логика Поста, три бесконечнозначные логики Гетмановой. Внутри бесконечнозначной логики «Логика истины» ($G_{\aleph_0}$) присутствуют (входят в ее состав): двузначная логика, трехзначная, четырехзначная, m-значная логика Поста, любая конечнозначная логика G_3, G_4, G_6, ..., Gn... .(Это было показано выше.)

3. Конструктивные логики

А. А. Марков логику строит не как одну законченную систему. В «башню» языков А.А. Маркова входит целая иерархия систем. Это система языков: $Я_0$, $Я_1$, $Я_2$, $Я_3$, ..., Яn (где n — натуральное число) и объемлющего их языка $Я\omega$; после $Я\omega$ строится язык $Я\omega_{|}$.

4. *Модальные логики*

Многие модальные системы взаимосвязаны между собой. К.И. Льюис в 1918 г. сформулировал модальное исчисление S3. В 1932 г. совместно с К. Лэнгфордом он сформулировал еще пять модальных логических систем, связанных с S3 и между собой. Это — S1, S2, S4, S5, S6.

Взаимосвязь логических систем, относящихся к различным направлениям

Классическая двузначная логика входит в состав многих других логик, а именно в состав многозначных логик: *m*-значной логики Поста; в состав бесконечнозначной «Логики истины» ($G_{\aleph_0}$) Гетмановой; в состав некоторых положительных логик (т. е. квазипозитивных логик).

Модальные логики связаны с многозначными логиками.

Немецкий математик и логик Аккерман построил свою модальную логику. Системы Льюиса и Аккермана являются бесконечнозначными.

Модальная логика Льюиса взаимосвязана с двузначной классической логикой. Льюис построил модальную пропозициональную логику S1 в виде расширения немодального (ассерторического) пропозиционального исчисления. При этом основные черты S1 и других его исчислений были скопированы с формализованной логической системы Principia Mathematica Рассела и Уайтхеда, сформулированы с помощью понятий, только терминологически отличающихся от понятий, использованных в Principia Mathematica (т. е. в классической логике). Исчисления Льюиса построены аксиоматически по образцу Principia, и по аналогии с Principia Льюис доказывает ряд специфических теорем.

Итак, в модальных системах Льюиса прослеживается взаимосвязь как с двузначной классической логикой, так и с многозначными, ибо его модальная логика является бесконечнозначной.

Известный финский логик и философ Г. фон Вригт в статье «О логике норм и действий» в разделе «Деонтическая логика как модальная логика» пишет: «Каждая тавтология пропозициональной логики (PL), в которой пропозициональные переменные заменяются деонтическими формулами, доказуема в этой системе»[70].

[70] *Вригт Г.Х. фон.* Логико-философские исследования. Избранные труды / Пер. с англ. М.: Прогресс, 1986. С. 248.

Он подчеркивает ведущую (основную) роль классической логики: «Насколько я понимаю, классическая логика является только предельным, но в то же время и основным случаем внутри некоторого множества логик, которые можно назвать логиками истины (truth — logics). Основной случай здесь несколько напоминает положение евклидовой геометрии по отношению к множеству эллиптических и гиперболических геометрических пространств»[71].

Теорией модальных логик и построением новых модальных систем занимаются отечественные логики А.А. Ивин[72], Ю.А. Ивлев[73], Я.А. Слинин и другие.

В *паранепротиворечивых логиках* дедуктивные средства классической логики должны быть максимально сохранены, поскольку они — основа всех обычных рассуждений. В первую очередь должен быть сохранен modus ponens, т. е. рассуждение по формуле $((a \to b) \wedge a) \to b$.

Паранепротиворечивая логика связана со многими видами неклассических логик: с модальной логикой (системой S5 К.И. Льюиса), с многозначными логиками, с релевантной логикой, где тоже не принимается принцип: из противоречия следует все, что угодно.

В трехзначной логике Гейтинга, если учитывать лишь значения функций 1 и 0, то из матриц системы Гейтинга вычленяются матрицы двузначной логики. В логике Гейтинга являются тавтологиями (законами логики) многие формулы классического двузначного исчисления высказываний. Отечественный философ физики А.И. Панченко в книге «Логика квантовой механики. Философия, физика, микромир» в главе VI «Логика и физика» отдельные разделы называет так: «О практических основах логики», «Из новейшей истории логики», «Рациональное содержание идеи взаи-

---

[71] *Вригт Г.Х. фон.* Логико-философские исследования. Избранные труды. С. 32—33.

[72] См.: *Ивин А.А.* Основания логики оценок. М., 1970; *Его же.* Логика норм. М., 1973.

[73] См.: *Ивлев Ю.А.* Содержательная семантика модальной логики. М., 1985.

мосвязи логики и физики». Приведем два высказывания А.И. Панченко. «...В основе тезисов о взаимосвязи логики и физики и о дополнительности классической и квантовой логик лежат, по крайней мере, следующие два положения». Раскрывая эти два положения, автор пишет так: «...Характеристика логики как закрепленного в сознании человека отражении общих, многократно в истории повторяющихся элементов практики. Отсюда следует, что логика, в том числе и формальная, хотя в конечном счете и относится к миру, но это ее отношение не непосредственное, а опосредованное практикой, зафиксированное прежде всего в языке и в формах мышления»[74]. И отсюда автор делает заключение о взаимосвязи логики классической и других разновидностей логики. «Любые модификации логики, — пишет А.И. Панченко, — претендующие на общезначимость, должны так или иначе согласовываться с фундаментальной, классической «макроскопической» логикой субъекта, опирающейся на эту самую многовековую практику. Иными словами, логикой метавысказываний, логикой анализа любого специального объектного, в том числе и квантовой механики, языка, остается обычная классическая логика»[75].

Эти идеи о взаимосвязи и о доминируемом месте классической логики в исследовании различных предметных областей являются истинными. То же самое мы видим и у Г. Рейхенбаха.

Немецкий логик Г. Рейхенбах создал свою трехзначную логику для исследования проблем квантовой механики[76].

Рейхенбах построил свою трехзначную систему для описания явлений квантовой механики. По его мнению, говорить об истинности или ложности высказываний правомерно лишь тогда, когда возможно осуществить их проверку. Если нельзя ни подтвердить истинность высказывания (т. е. верифицировать его),

---

[74] *Панченко А.И.* Логика квантовой механики. М., 1988. С. 143.

[75] Там же.

[76] См.: *Гетманова А.Д.* Учебник логики. М., 2003. С. 313—315.

ни опровергнуть его с помощью проверки (фальсифицировать), то такое высказывание должно оцениваться третьим значением — неопределенно. К числу таких высказываний относятся высказывания о ненаблюдаемых объектах в микромире.

Сам Рейхенбах так пишет о значении трехзначной логики для квантовой механики: «Введение третьего значения истинности не делает все высказывания квантовой механики трехзначными. Рамки трехзначной логики достаточно широки, чтобы включать класс истинно-ложных формул. Когда мы хотим все высказывания квантовой механики ввести в состав трехзначной логики, то руководящей идеей будет: поместить в истинно-ложный класс те высказывания, которые мы называем законами квантовой механики»[77]. В этом высказывании Г. Рейхенбаха четко сказано, что высказывания о ненаблюдаемых объектах в микромире подчиняются трехзначной логике, а высказывания о законах науки квантовой механики формулируются с помощью классической двузначной логики. Такова взаимосвязь классической и трехзначной логики.

Взаимосвязь или сравнение различных направлений логики по их «силе»

m-значная логика Поста, являясь обобщением двузначной классической логики «сильнее» ее. Бесконечнозначная «Логика истины» $G_{\aleph_0}$ «сильнее» двузначной логики и «сильнее» m-значной логики Поста, т. к. является обобщением той и другой. Логика Косовского «сильнее» системы $G_{\aleph_0}$ Гетмановой, ибо является обобщением последней на предикаты и секвенции.

Эквивалентными являются следующие системы: исчисление высказываний двузначной логики и конструктивная частная логика суждений Колмогорова, которая имеет среди ее аксиом аксиому $\overline{\overline{A}} \to A$. А именно из системы частной логики можно вывести все формулы традиционной логики суждений (т. е. двузначной логики высказываний).

[77] *Reichenbach H.* Philosophical Foundations of Quantum Mechanics. Berkeley; Los Angeles, 1946. P. 160.

Положительные логики (ПЛ) (в узком смысле) слова построены без операции отрицания, и отрицание не может быть выражено в их системах[78].

Можно предложить классификацию положительных логик (ПЛ) по такому основанию: числу логических операций, на котором они построены.

Квазипозитивными логиками, построенными на одной операции, являются логика, построенная на операции «штрих Шеффера» (антиконъюнкция), и логика, основанная на операции антидизъюнкции. Квазипозитивная логика, построенная на операции антидизъюнкции, которая соответствует сложному союзу «ни..., ни...» и обозначается $a \,\overline{\vee}\, b$ («ни a, ни b), таблично определена так.

a	b	$a \,\overline{\vee}\, b$
И	**И**	**Л**
И	**Л**	**Л**
Л	**И**	**Л**
Л	**Л**	**И**

Ряд квазипозитивных логик основан на двух операциях. ПЛ в узком смысле, основанными на одной операции, являются импликативная логика, основанная на операции импликации, и логика, построенная на операции эквиваленции. Ряд ПЛ основан на двух операциях:

а) на импликации и конъюнкции;

б) на дизъюнкции и конъюнкции;

в) на импликации и дизъюнкции.

ПЛ (в узком смысле) является подсистемой (частичной системой) более сильных логик — интуиционистской и классической. Все утверждения ПЛ имеют силу как в интуиционистской логике, так и в классической логике. Внутри самих ПЛ также имеются различные по силе системы. Так, импликативная логика, включающая две аксиомы, слабее, чем ПЛ, включающая, кроме этих двух, аксиомы, характеризующие конъюнкцию и дизъюнкцию. Аксиоматическое построение

[78] См.: *Гетманова А.Д.* Логика: Учебник. 8-е изд. М., 2005. С. 292—294.

подтверждает это соотношение: *самой сильной является классическая логика, слабее интуиционистская, еще слабее ПЛ*.

Общим для ПЛ в широком и узком смыслах является то, что среди логических констант этих систем нет операции отрицания.

Отличия этих систем следующие:

1) в квазипозитивных логиках операция отрицания выразима средствами этой логики, а в ПЛ в узком смысле операция отрицания не выразима;

2) квазипозитивные логики являются моделями классической логики, т. е. они эквивалентны классической логике высказываний, а ПЛ в узком смысле не эквивалентны классической логике, являясь ее подсистемами (частичными системами), следовательно, они слабее классической логики высказываний. Эти сравнения различий логик по их «силе» можно продолжить. Проанализировав взаимоотношение, взаимосвязь многих логических систем (логик), видим, что классической двузначной логике принадлежит фундаментальная роль в различных естественных науках: классической математике, классической физике, химии, информатике и др., а также во всех гуманитарных науках (истории, социологии, юриспруденции, лингвистике и многих других).

Значение логики

Одна из важных и по-прежнему дискуссионных философских проблем логики — это вопрос о ее гносеологическом статусе и роли в развитии мышления вообще и научного мышления в особенности. Очевидно, что можно логично рассуждать, правильно строить свои умозаключения, опровергать доводы противника и не зная правил логики, подобно тому, как нередко люди выражают свои мысли на языке, не зная его грамматики. Однако, на наш взгляд, знание логики существенно повышает культуру мышления, способствует четкости, последовательности и доказательности рассуждения, усиливает эффективность и убедительность дискурса.

Логическая культура — это отнюдь не врожденное качество. Для ее развития необходимо ознакомление с основами логической науки, которая в течение двухтысячелетнего развития накопила многие теоретически обоснованные и оправдавшие себя методы и приемы рационального рассуждения и аргументации.

Б.Л. Яшин отмечает, что не случайно приоритет логики как науки (наряду с философией) в Европе признавался уже к XIII в., а ее главенство в общеобразовательных программах школ (как основной дисциплины так называемого тривия) сохранялось на протяжении всего средневековья и подчеркивает, что логика входила во все программы обучения уже первых европейских университетов как обязательная дисциплина и выполняла важную общекультурную функцию.

Логика остается во многом в этой своей роли и в настоящее время.

В настоящее время важное значение принадлежит диалогу. «Люди, если они хотят жить в мире, должны научиться договариваться друг с другом. Договариваться не только на международных симпозиумах и конференциях, не только в рамках международных государственных или общественных организаций, какими являются, например, ООН и ЮНЕСКО, но и в повседневной жизни»[79].

В науке, в том числе информатике, логике принадлежит безусловно важнейшая роль. Однако адекватное понимание логики, ее содержания, возможностей и перспектив дальнейшего развития во многом зависит от ее правильного философского осмысления. Отечественный логик И.С. Ладенко в монографии «Интеллектуальные системы и логика» дал классификацию интеллектуальных систем и следующим образом подчеркнул огромную роль логики в информационных технологиях: «Применение информационных технических устройств в качестве элементов интеллектуальных систем открыло новую область приложения логики и математики. Автоматическое выполнение интеллектуаль-

[79] *Яшин Б.Л.* Логика. М., 2004. С. 8.

ных процессов предполагает предварительное проведение их логического анализа и их математическое описание»[80].

За последние годы символическая логика и ее философские проблемы стали предметом постоянного обсуждения на уже традиционных Смирновских чтениях. Так, на Международной конференции «Смирновские чтения» (1997 г.) были представлены три секции: Секция 1. «Символическая логика». Секция 2. «Философская логика и логическая философия». Секция 3. «Методология и философия науки»[81].

О значении изучения логики для молодых людей актуально и своевременно звучат мысли, высказанные Г. Струве 120 лет назад.

Г. Струве писал: «Введение Логики, как предмета преподавания в гимназиях, есть мера столь благоразумная и утешительная, что от нее следует ожидать самых благодатных последствий.

Прежде всего мера эта устранит ту несообразность, что у нас молодой человек мог окончить курс наук, не только в гимназии, но даже и в университете (например, по медицинскому, математическому, а иногда и по юридическому факультетам), не получив ни малейшего понятия о самых элементарных основаниях Логики, этого необходимого пособия при всяком научном исследовании; условия всякого истинного образования и самостоятельного мышления, как в области теории, так и в практической жизни.

Чего же можно ожидать в научном отношении от молодого человека, получившего высшее образование без этого первоначального фундамента? Чем будет он руководиться в жизни при выборе и оценке разнородных, действующих на него взглядов? Не знакомый с

[80] *Ладенко И.С.* Интеллектуальные системы и логика. Новосибирск, 1973. С. 10.

[81] См.: Смирновские чтения. Институт философии РАН и др. М., 1997. 158 с. См.: Логико-философские труды Смирнова В.А. М., 2001; *Смирнов В.А.* Теория логического вывода. М., 1999. См.: *Смирнова Е.Д.* Логика и философия. М., 1996. См.: *Карпенко А.С.* Логика на рубеже тысячелетий // Логические исследования. М., 2000. Вып. 7.

самыми простыми средствами истинно критической оценки чужих воззрений, он примет, даже после окончания курса наук в университете, обыкновенно без всякой критической самостоятельности, то воззрение, которое, заслуженно или незаслуженно, пользуется наибольшею популярностью в той тесной среде, к которой он случайно принадлежит»[82].

Фундаментальная роль и значение логики для современной науки (в различных ее аспектах) и для философии науки не вызывает сомнений. Конечно, не нужно сводить философию науки к логике науки, как это делали логические позитивисты. Однако не нужно бросаться и в другую крайность: умалять значение логики для науки и философии науки.

Правильное осмысление философских проблем логики поможет эффективнее использовать ее арсенал как в самой науке, так и в ее приложениях, сделает логику необходимым и неотъемлемым компонентом современного естественно-научного, технического и гуманитарного образования.

---

[82] *Струве Г.* Элементарная логика. Предисловие к первому изданию. Варшава, 1884. С. III—IV.

Наши авторы

Лебедев Сергей Александрович — доктор философских наук, профессор кафедры философии ИППК МГУ им. М.В. Ломоносова, Заслуженный профессор Московского университета.

Гетманова Александра Денисовна — доктор философских наук, профессор кафедры философии Московского государственного педагогического университета.

Григорян Александр Аркадьевич — кандидат философских наук, доцент кафедры математики факультета государственного управления МГУ им. М.В. Ломоносова.

Жукова Елена Анатольевна — кандидат философских наук, доцент кафедры философии Томского государственного педагогического университета.

Казарян Валентина Павловна — доктор философских наук, профессор кафедры философии естественных факультетов МГУ им. М.В. Ломоносова, Заслуженный профессор Московского университета.

Мелик-Гайказян Ирина Вигеновна — доктор философских наук, заведующая кафедрой истории и философии науки Томского государственного педагогического университета.

Перминов Василий Яковлевич — доктор философских наук, профессор кафедры философии естественных факультетов МГУ им. М.В. Ломоносова, Заслуженный профессор Московского университета.

Твердынин Николай Михайлович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики Московского государственного педагогического университета.

Тищенко Павел Дмитриевич — доктор философских наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела комплексных проблем изучения человека Института философии РАН.

СОДЕРЖАНИЕ

THE TABLE OF CONTENTS