С. В. Конявская

ОСНОВЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

для специалистов по защите информации

Москва
Первая Оперативная Типография
2018

УДК 001.891

ББК 72.5

Рецензент:

Анатолий Александрович Стрельцов, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор юридических наук, доктор технических наук, профессор.

Конявская С. В.

Основы научного исследования для специалистов по защите информации. М.: Первая Оперативная Типография, 2018. – 764 с., ил.

ISBN 978-5-6040974-4-1

Книга представляет собой соединение курса лекций по дисциплине «Основы научного исследования» и хрестоматии к этому курсу. Пособие создавалось в качестве методической поддержки курса по соответствующему предмету на кафедре защиты информации факультета радиотехники и кибернетики МФТИ и включает в себя кроме авторского материала и фрагментов текстов произведений списка литературы также задания учащимся для выполнения дома или на занятии. Книга предназначена в первую очередь для специалистов по защите информации, начинающих научную деятельность.

ISBN 978-5-6040974-4-1

© Конявская С. В., 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие		5
Тема 1.	Введение в основы научного исследования (включает фрагменты из [Мамардашвили; Фейнман; Ивин])	9
Тема 2.	Обоснования и доказательства (включает фрагменты из [Коэн, Нагель; Гренандер]	131
Тема 3.	Определения (включает фрагменты из [Конявская; Пойя, 1959])	193
Тема 4.	Ошибки (включает фрагменты из [Конявская; Ван Гиг])	238
Тема 5.	Понятия «метод», «методика», «методология», «направление» (включает фрагменты из [Таванец; Кун; Пойя, 1975; Кузин])	285
Тема 6.	Работа исследователя и исследовательская работа: жанровая специфика (реферат, НИР, диплом), аппарат исследовательской работы, библиографический поиск и научный поиск	382
Тема 7.	Экспериментальная часть научного исследования. Гипотеза и ее проверка (включает фрагменты из [Пойя, 1975; Коэн, Нагель; Пигарёв; Пойя, 1959])	414
Тема 8.	О некоторых специфических методах и приемах при постановке эксперимента (включает фрагменты из [Налимов, Голикова; Хикс; Гузаиров, Машкина, Степанова; Ляхов, Пустогаров, Гудилов])	545

Тема 9. Степень разработанности проблемы (или история вопроса) (включает фрагменты из [Кузин; Конявский]) 644
Тема 10. Научный дискурс: формы и жанры, научное общение (включает фрагменты из [Конявская; Коэн, Нагель; Кожина, Дускаева, Салимовский; Хемминг; Кузин; Конявская]) 693
Заключение 756
Список источников, приведенных во фрагментах или целиком 759
Список литературы 761

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предмет «Основы научного исследования» сейчас преподается во многих вузах на самых разных специальностях практически любых отраслей знаний. Если прибавить к этому курсы, имеющие другие названия, но принципиально сходное содержание, то, скорее всего, окажется, что читается такой предмет решительно всем, кто получает высшее образование.

Разумеется, существует и литература, как ориентированная на самообучение, так и сопровождающая соответствующие курсы (учебные и методические пособия). Среди этих материалов есть различные не только по качеству, но и по степени специализированности для той или иной области знаний, можно сказать, «общие» и «частные» «основы», например: [1–9].

В целом, при наличии стремления к узнаванию получить все знания, необходимые для эффективных научных штудий, возможно. Однако каждый ученый возразит, что механистическое овладение методическими приемами без освоения и, что важнее, *при*своения огромного пласта фоновых научных знаний и представлений, которые формируют «культуру ученого», не много даст исследователю. Думается, именно в связи с этим заметное внимание в различных курсах по методологии науки уделяется вопросам о том, кому принадлежат те или иные ставшие классическими (или просто прецедентные) высказывания, кто ввел в научных оборот то или иное понятие, кто был основоположником и у кого на плечах он стоял. Это все очень важные вещи, но представляется, что той подачи, которая характерна для такого

рода курсов (в первую очередь, в силу их краткости), совершенно недостаточно для того, чтобы сложилась картина мира ученого (или хотя бы ее эскиз).

Эта книга задумана как эксперимент, направленный на то, чтобы создать в голове начинающего исследователя образ (pattern, а не image, пользуясь терминологией У. Гренандера [Гренандер]) науки. Именно на это нацелена ее основная особенность – жанровая: это соединение курса лекций с хрестоматией.

По мере снижения степени унифицированности учебных программ и одновременно роста доступности текстов в электронном виде хрестоматия как вспомогательная форма учебного пособия теряет популярность. Однако именно «Основы научного исследования» представляются той самой учебной дисциплиной, для которой жанр хрестоматии следует не только возродить, но и сделать основным, а не вспомогательным – именно по той причине, что «образ науки» носит ярко выраженный вербальный характер, он может быть создан только текстами, потому что только посредством текста совершается шаг от информации в ноосфере к знанию в науке – шаг, который называется «введением в научный оборот». Чтение текстов выдающихся ученых, которые (тексты, а не только сами ученые) имеют собственное лицо и самоценны как произведения словесности, – это именно то, что может сделать талантливого студента подающим надежды исследователем. Курс, по материалам которого составлена эта книга, задуман как своего рода «тизер», имеющий целью раздразнить аппетит к чтению научной литературы «сверх обязательной программы», что в конечном итоге, по глубокой убежденности автора этих строк, не может не пробудить азарт к самостоятельному исследованию не менее высокого уровня.

В то же время хрестоматия в чистом виде – сборник фрагментов текстов, пусть даже совершенно прекрасных, вряд ли смогла бы оказаться эффективным инструментом для студента технической специальности, ориентированного и ориентируемого всем учебным процессом в первую очередь на практику. Современные студенты не любят читать «просто так», как бы современные преподаватели к этому ни

относились. Поэтому книга построена иначе – фрагменты произведений в ней включены в изложение методологического материала в качестве примеров, иллюстраций, точек зрения, альтернативных позиции автора или подкрепляющих ее. Представляя собой изложение курса лекций, книга написана на материале собственного научного опыта автора, который, в частности, свидетельствует о полезности применения данных и методик не только из смежных, но и из довольно далеких областей знаний. Важной задачей этого курса и этой книги видится именно трансляция учащимся убежденности в том, что лишних знаний не бывает.

Поэтому, в отличие от упомянутых выше «частных основ», учебных пособий по организации и оформлению исследований в конкретных областях знаний, это все-таки «общие основы», примеры приводятся из естественных, точных, гуманитарных и технических наук, рассматривается возможность и целесообразность заимствования подходов, применения междисциплинарных аналогий и наложения систем, описывающих феномены совершенно разной природы.

Текст книги сопровождается двумя разными списками литературы – списком работ, приведенных в ней в виде фрагментов, и списком работ, на которые в тексте книги даются стандартные ссылки. Во избежание путаницы ссылки на эти списки оформлены по-разному: в виде фамилии автора (и года, если произведений одного автора несколько), например: [Гренандер], – оформлены ссылки на список произведений, приводимых во фрагментах, а в виде номера, например: [1], – ссылки на стандартный список литературы.

Авторский текст и фрагменты произведений других ученых даны для облегчения восприятия разными шрифтами, вторые (то есть фрагменты, а не авторский текст) дополнительно выделены рамочкой.

Главы книги – это темы курса, а не «лекции», большинство из них рассчитано на несколько занятий, и в зависимости от имеющихся в распоряжении преподавателя часов материал и задания, которые приводятся в каждой теме, можно давать для самостоятельного изучения и выполнения или разбирать совместно в аудитории. При этом наилучшие результаты

достигаются в том случае, когда прочитанные фрагменты из научных трудов увязываются явным образом с исследовательскими задачами студентов. Студенты не всегда могут сделать это самостоятельно, поэтому преподавателю крайне желательно рассчитать время таким образом, чтобы как минимум проконтролировать результат самостоятельных размышлений. Когда начинающий исследователь понимает, что та сущность (в платоновском смысле), которую он нащупал в своем исследовании, – не что иное, как *парадигма*, а *правдоподобность его рассуждения* можно оценить в терминах научного метода, он начинает смотреть на свои шаги в науке совершенно иначе, и, возможно, именно благодаря этому они продолжатся и за пределами обучения в вузе.

ТЕМА 1. ВВЕДЕНИЕ В ОСНОВЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В жизни мы сталкиваемся с научными исследованиями в трех возможных формах:

1) что-то исследуем,

2) вводим результаты своего труда в научный оборот в виде научного текста,

3) потребляем чей-то чужой научный продукт.

И то, и другое, и третье получается эффективно только в случае владения некоторыми навыками. Этот курс (и никакой другой) не может претендовать на то, чтобы такие навыки в полной мере выработать. Однако уже наличие представления о них – лучше, чем ничего.

Прямое практическое применение материала курса – написание рефератов, НИР и дипломной работы.

Для того чтобы сделать это хорошо, нужно научиться всем трем формам взаимодействия с наукой, поскольку сами рефераты, НИР и диплом являются научными текстами (2), отражающими результаты научного исследования (1), проведенного на основе изученной истории вопроса по предмету исследования (3).

Бесполезны рассуждения о том, что важнее. Да, без самостоятельной исследовательской части диплом не состоится, но самостоятельная исследовательская часть не будет иметь ценности, если вы изобретете в ней велосипед, который будет ехать по лучу света, проходящему сквозь песок. Менее убедительно звучит утверждение, что результаты исследования, имеющие практическую ценность и теоретическую значимость, основанные на накопленном опыте

и обширной истории вопроса, могут оказаться невостребованными исключительно из-за того, что не были оформлены как связный научный текст. Конечно, скорее всего, они будут востребованы и войдут в научный оборот, но уже не под вашим авторством. Это довольно неприятно, хоть и не смертельно.

В условиях краткого курса мы будем стараться овладевать всеми тремя умениями обращения с наукой параллельно. То есть мы будем

- выполнять задания, нацеленные на умение правильно читать научные тексты,
- изучать подходы, методики и приемы проведения исследовательских работ,
- собирать минимально необходимый набор инструментов для создания собственных научных текстов.

Одним из ключевых умений, которые вам нужно приобрести, – умение отличать научное от ненаучного. Это важно и в отношении текста, и в отношении процесса исследования. Ненаучный эксперимент ведет к получению ненаучного результата, отраженного в ненаучном (хотя подчас наукообразном) тексте.

Умение отличать научное от наукообразного трудно переоценить.

Поэтому начнем с выяснения набора характеристик, свойственных научному. Для этого проанализируем содержание словарных статей, посвященных этим вопросам, и составим единый список того, что, по мнению составителей словарей, имманентно научному.

Представляется необходимым оговорить, почему в качестве материала выбраны именно словарные статьи. Для составления списка, который станет отправной точкой в формировании представлений о научности, важно выбрать материал

а) достаточно авторитетный,

б) лишенный заметной тенденциозности.

Словарный материал обладает обоими свойствами за счет того, что словари подготавливаются коллективами ученых и

проходят многочисленные ступени контроля, в результате чего словарные статьи, как правило, предельно обезличены и достаточно достоверны, чтобы на них можно было опираться.

Если бы я решила выбрать в качестве основной позицию определенной научной школы или конкретного ученого, мне необходимо было бы тщательно обосновать этот выбор, что увело бы нас очень далеко.

В случаях, когда вам необходимо *только общее представление* о том или ином предмете, которое затем будет уточняться или, наоборот, требуется просто как иллюстрация, словарные статьи – желательно из нескольких разных словарей, относительно современных и в то же время подготовленных коллективами ученых в научных организациях, – это хороший выбор.

Итак.

Критерии научности

«…1. Истинность. Нельзя отождествлять научность и истинность. Ильин выделил в науке три элемента: наука переднего края, предназначенная для проигрывания альтернатив (творческий поиск, гипотезы); твердое ядро науки – непроблематизируемый пласт знаний, выступающий фундаментом; история науки – вытесненное за пределы науки (морально устаревшее) знание, возможно, не окончательно[1]. Только ядро образовано из истинного знания, однако и ядро претерпевает изменения (научные революции). Абсолютного истинного знания в науке не существует.

2. Проблемность: наука – попытка решения проблемных ситуаций. Историк Коллингвуд: всякая наука начинается с сознания незнания.

3. Обоснованность. Нельзя абсолютизировать обоснованность: не каждое высказывание должно быть доказано; наука опирается на ненаучные предпосылки, которые принимаются без доказательства. С течением времени очевидность этих предпосылок может измениться; тогда

[1] Например, атомизм Демокрита был вытеснен, но в XVI в. принят вновь.

происходит пересмотр предпосылок (пример – возникновение квантовой механики).

4. Интерсубъективная проверяемость. Научное знание считается обоснованным, если существует принципиальная возможность его проверки всем сообществом.

5. Системность: научное знание должно быть логически организовано.

6. Прогрессизм: научное знание должно самосовершенствоваться. К искусству это требование не применимо – могут одновременно существовать несколько направлений (например, реализм и сюрреализм).

Рассмотренные критерии являются идеальными нормами, они не описывают научное знание, а предписывают. Одновременное наличие всех этих критериев невозможно, это лишь стремление. Приведенная система критериев требует уточнения в применении к отрасли науки (например, в физике главную роль играет интерсубъективная проверяемость, в математике – истинность, в истории – системность)» [10].

«…множество специфических характеристик знания, являющихся в своей совокупности демаркатором научного знания от ненаучного. Как правило, к ним относят: дискурсность, предметность, определенность смысла и значений понятий, доказательность утверждений, проверяемость, системность, объективность. (См. наука, рациональность, научная рациональность)» [11].

«…особенности научного познания, позволяющие отличить его от других форм знания и познания. К числу главных научных критериев относятся: 1) Задача – обнаружение объективных законов природы, общества, мышления, познания. 2) Цель – достижение объективной истины. 3) Ориентация науки – изменение окружающей действительности и управление реальными процессами. 4) Научное знание образует целостную развивающуюся систему понятий, теорий, гипотез, законов, закрепленных в языке – естественном или искусственном (математическая

символика, химические формулы). 5) Применение специфических материальных средств: приборов, инструментов и др., использование для исследования таких методов, как современная формальная логика, диалектика, системный, кибернетический, синергетический и другие общенаучные приемы и методы. 6) Строгая доказательность, обоснованность полученных результатов, достоверность выводов наряду с гипотезами, вероятностными рассуждениями. 7) Постоянная методология исследовательских процедур» [12].

Наука

«…специализированная когнитивная деятельность сообществ ученых, направленная на получение и использование в практике нового научного знания о различного рода объектах, их свойствах и отношениях. Научное знание должно отвечать определенным критериям: предметности, воспроизводимости, объективности, эмпирической и теоретической обоснованности, логической доказательности, полезности. Сегодня наука является сверхсложной социальной системой, обладающей огромной степенью самоорганизации, мощной динамикой расширенного воспроизводства, результаты которой образуют основу развития современного общества, являющегося в своей основе инновационным. (См. научная деятельность, научная рациональность, научный метод)» [11].

Научный метод

«…система категорий, ценностей, регулятивных принципов, методов обоснования, образцов и т. д., которыми руководствуется в своей деятельности научное сообщество. Н. м. предполагает:

● достаточно устойчивую и ясную систему категорий, служащих координатами научного мышления;

● определенную систему ценностей, на которые ориентируется в своей деятельности ученый;

● специфический отбор методов обоснования полученного знания;

● ряд общих регулятивных принципов, соответствие которым желательно, но не обязательно;

● особые, специфические для каждой научной дисциплины правила адекватности;

● определенные образцы успешной исследовательской деятельности в конкретной области.

Среди ценностей, направляющих научную деятельность, первостепенную роль играет реализм – убеждение в реальном (чаще всего материальном) существовании исследуемых объектов, в том, что они независимы от ученого, не являются его конструкцией, иллюзией, фантазией и остаются в силу этого одинаковыми для всех исследователей. Иногда вместо термина "реализм" используется термин "объективность": "Краеугольным камнем научного метода является постулат о том, что природа объективна" (Ж. Моно). Однако, как отмечает К. Лоренц, в "постулате объективности" содержатся на самом деле целых два постулата, один из которых относится к объекту научного поиска, а другой имеет в виду самого ученого. Прежде всего, следует допустить материальное существование самого объекта исследования, если таковое исследование рассчитывает иметь к.-н. смысл. В то же время лежащие на ученом обязанности нелегко поддаются явному определению. Др. основополагающей научной ценностью является эмпиризм – уверенность в том, что только наблюдения и эксперименты играют решающую роль в признании или отбрасывании научных положений, включая законы о теории. В соответствии с требованием эмпиризма неэмпирическая (теоретическая или контекстуальная) аргументация может иметь только вспомогательное значение и никогда не способна поставить точку в споре о судьбе конкретного научного утверждения или теории. В методологическом плане эмпиризм гласит, что различные правила Н. м. не могут допускать «диктаторской стратегии»: они должны исключать возможность того, что мы всегда будем выигрывать игру, разыгрываемую в соответствии с этими правилами; природа

должна быть способна хотя бы иногда наносить нам поражения. К ценностям, предполагаемым Н. м., относятся также теоретичность – стремление придать итогам исследования особую систематическую форму, а именно форму теории, способной обеспечить объяснение (предсказание) и понимание исследуемых явлений; объективность – требование избавляться от индивидуальных и групповых пристрастий, непредвзято и без предрассудков вникать в содержание исследования, представлять изучаемые объекты такими, каковы они сами по себе, независимо от субъекта или "наблюдателя", всегда исходящего из определенной "т.зр."; совместимость – убеждение, что новое знание должно в целом соответствовать имеющимся в рассматриваемой области законам, принципам, теориям или, если такого соответствия нет, объяснять, в чем состоит ошибочность старых представлений; критичность – готовность подвергнуть полученные выводы "критике и проверке… в надежде найти ошибки, чему-то научиться на этих ошибках и, если повезет, построить лучшие теории" (К. Поппер); открытость – возможность свободного обмена информацией в рамках научного сообщества; воспроизводимость – повторяемость проведенных др. исследователями наблюдений и экспериментов, причем с теми же результатами, что и полученные ранее, и др.

Множество основных ценностей, которыми руководствуется ученый, не имеет отчетливой границы, и данный их перечень не является исчерпывающим. Нет оснований сводить эти ценности к какой-то одной или немногим из указанных, напр. к критичности, как это делает Поппер, полагающий, что "критерием научного статуса теории является ее фальсифицируемость, опровержимость…". Соответствие указанным ценностям гуманитарных и др. наук, тяготеющих к системе абсолютных категорий, носит иной характер, чем соответствие этим же ценностям естественных и социальных наук, опирающихся на сравнительные категории. Это касается в первую очередь требований эмпиризма, теоретичности, объективности, критичности. Данные требования гораздо

труднее реализовать в науках второго типа, чем в науках первого типа. В частности, та степень теоретичности и объективности, которая обычна в науках, использующих временной ряд без “настоящего” и оценочный ряд без “хорошо”, никогда не достигается в науках, опирающихся на временной ряд с “настоящим” и предполагающих (явные или неявные) абсолютные оценки.

Допускаемые Н. м. способы обоснования образуют определенную иерархию, вершиной которой является аргументация эмпирическая (прямое и косвенное подтверждение в опыте и др.). Далее следует аргументация теоретическая (дедуктивная и системная аргументация, методологическая аргументация и др.). Что касается аргументации контекстуальной (ссылок на традицию, авторитеты, интуицию, веру, здравый смысл, вкус и т. п.), она считается менее убедительным, а иногда и просто сомнительным способом научного обоснования. И вместе с тем без контекстуальных, зависящих от аудитории аргументов неспособны обходиться ни гуманитарные, ни нормативные науки, поскольку «все наше историческое конечное бытие определяется постоянным господством унаследованного от предков – а не только понятого на разумных основаниях – над нашими поступками и делами» (Х. Г. Гадамер).

<...>

Н. м. предполагает, что новое научное положение должно находиться в согласии не только с эмпирическими данными и хорошо зарекомендовавшими себя теориями, но и с определенными регулятивными принципами, складываю-щимися в практике научных исследований. Эти принципы разнородны, обладают разной степенью общности и конкретности. Наиболее известные из них: принцип простоты (требование объяснения изучаемых явлений при минимальном числе независимых и как можно более простых допущений), принцип привычности, или консерватизма (рекомендация избегать неоправданных новаций и стараться, насколько это возможно, объяснять новые явления с помощью известных законов), принцип универсальности (пожелание проверять выдвинутое положение на приложимость его к классу явлений,

более широкому, чем тот, на основе которого оно было первоначально сформулировано), принцип красоты (требование, чтобы хорошая теория отличалась особым эстетическим впечатлением, элегантностью, ясностью, стройностью и даже романтичностью) и др.» [13].

Задание учащимся: обобщить предложенные данные и сформировать список характеристик научного.

В результате обобщения материалов словарных статей получается такой список.

1. Цель – установление истины.
2. Задача – описание мира, выявление объективных законов.
3. Реализм – предмет изучения полагается существующим.
4. Проблемность (полезность) – ищется ответ на вопрос.
5. Обоснованность – доказательность, опора на истинные положения.
6. Эмпиричность – основанность на наблюдении, опыте, эксперименте.
7. Объективность – независимость от субъекта (наблюдений, доказательств, результатов).
8. Системность – предмет наблюдения исследуется (описывается) как система (то есть как совокупность элементов и их связей относительно среды, в которой этот предмет изучения существует (иными словами, того, что не является этим предметом)).
9. Теоретичность – получаемые знания организуются в логичные теории, встраиваясь в существующие теории или перестраивая их.
10. Воспроизводимость результата, наблюдения, доказательства, в том числе другим субъектом, на других объектах класса.
11. Верифицируемость – результат должен быть проверяем, для этого требуется открытость исходных данных, результата и методик.
12. Дискурсивность – наука использует свой язык.

13. Применение специального инструментария – приборов, методов и приемов.

14. Определенность и постоянство понятий.

15. Определенность и постоянство методологии исследовательских процедур.

16. Совместимость – новое знание должно вписываться в существующую схему или позволять обосновать ее ошибочность.

17. Прогрессивное развитие (эволюция, революции) – старое сменяется новым, а не существует параллельно, как в искусстве или промышленности.

18. Опровержимость – результаты могут и должны быть проверены, должно быть ясно определено, в каком случае гипотеза или теория должна быть признана ошибочной.

19. Принципы:

- простоты (минимум допущений),
- консерватизма (новации должны быть обоснованы),
- универсальности (результат должен касаться класса, а не объекта),
- красоты (построение должно быть элегантным).

Стоит оговориться о том, что, поскольку методология науки сама по себе является предметом научной разработки – ею занимаются философы (те, кто относит свои исследования к прикладным, называют это методологией, а те, кто относит к фундаментальным, – эпистемологией), все или, во всяком случае, многие из этих положений периодически подвергаются критике, опровергаются, заменяются другими, в строгом соответствии с требованием прогрессивного развития. Каждый исследователь может выработать свое отношение к этим изменениям – стараться «идти в ногу со временем» или выбрать то, что созвучно его собственным представлениям, но хотелось бы на одном примере разобрать, в какой мере тут действительно можно усматривать противоречия между «классическими» и «современными» свойствами науки и целесообразно ли это делать.

Работа М. К. Мамардашвили «Классический и неклассический идеалы рациональности» [Мамардашвили]

посвящена тому, что в науке Нового времени (то есть с XX в.) классические идеалы рациональности – эмпиризм, объективность, реализм – неуместны и невозможны, так как предметом науки становятся явления, в этих категориях не постижимые. Основные идеи вскрываемого противоречия заключаются в том, что 1) инструментом наблюдения является наблюдающий, и в этом смысле воспроизводимость и объективность невозможны в принципе, и 2) *наблюдаемой* непосредственно, даже с оговорками из п. 1, является только внешняя сторона явления, внутреннюю можно только *интерпретировать*. Чтобы в свою очередь не интерпретировать автора излишне вольно, целесообразно привести несколько небольших фрагментов, показывающих известное разнообразие и разнородность тех явлений, которые Мамардашвили относит к не постижимым в классических идеалах.

Мамардашвили М. К. Классический и неклассический идеалы рациональности

Фрагмент 1. Из раздела «Проблемы наблюдения»

...внутри физической теории, которая исследует природные явления и добивается некоторой объективной и интеллектуально проницаемой картины физического мира, мы не можем (внутри самой же этой теории) понять те средства, которые мы используем для построения этой картины; настолько, что даже такой ученый, как фон Нейман, в своей попытке объяснить, откуда появляются вероятностные значения и неопределенности в физической теории, связывал появление этих вероятностных значений и неопределенностей с тем фактом, что теория (физическая теория) имеет дело с явлениями, которые начинаются в цепи природы, а кончаются в совершенно неясном для нас завершающем ее звене, будучи зарегистрированы нашими аппаратами отражения и осознанием нами этих состояний. И вот это осознание, которое является конечным звеном фиксации нами цепи физических явлений, без которого мы вообще не можем о них судить и что-либо знать, мы не можем само фиксировать в точных понятиях. Тем самым мы точную картину физических явлений в мире покупаем ценой нашего непонимания сознательных явлений. Я подчеркиваю – ценой нашего научного непонимания. Как живые реальные существа, мы продолжаем понимать и весьма свободно ориентироваться и жить в сфере сознательных явлений, но мы не можем построить относительно их теорию. Иными словами, мы не можем их зафиксировать объективно, что делает человека и жизнь – и это самое главное следствие – чуждыми объективно изображенному физическому универсуму, выбрасывает их из него. <...>

Возьмем в качестве пометки для дальнейшего простую иллюстрацию. Непрерывность опыта, а она – условие научных высказываний о предметах, данных этому опыту, предполагает, как я сказал, перенос наблюдения по всему полю, т. е. мою возможность в любой точке пространства наблюдения быть рефлексивно непрерывным носителем интеллигибельного содержания происходящих (или вообще осознаваемых) там событий, явлений. Но уже простой пример обучения – если вдуматься – ускользает от этой непрерывности, не говоря уже о более сложных явлениях, которые, скажем, психоанализом выявлены. Я ограничу свою задачу (потому что все остальные, более сложные проблемы нам еще предстоят) напоминанием об одном простом свойстве феномена усвоения знания и обучения. В классической педагогике, а она лишь частный элемент общего классического стиля мышления, фактически предполагается некоторая привилегированная (и в этом смысле – одноединая и абсолютная) система отсчета – такая, что перенос знания из любой точки пространства и времени в любую другую точку пространства и времени (в том числе из одной головы – в другую в обучении и усвоении) покоится на реконструкции или воссоздании одного единого (или самотождественного) субъекта по всем точкам этого поля. Это означает, что везде происходит «то же самое», что может быть получено на основе подстановки однорефлексивного, автономного и конечного источника выбираемых, приводимых в связь и подтверждаемых данных, представлений и знаний.

В этом смысле поле «нормализовано» и предполагается, что время на преобразование, на трансформацию в объединяемые затем точки можно не учитывать, т. е. преобразования предполагаются совершившимися,

мгновенными (в этом смысле точки безразмерны, идеальны). Ведь мы, рассуждая о сознании, наблюдении, отражении и т. д., всегда как бы сидим на двух стульях: мы одновременно какими-то независимыми средствами видим и предмет сознания (данный, например, ребенку в какой-то другой точке наблюдения), и действие этого предмета на сознание, и само это сознание – в предположении, что и там и здесь наблюдается один и тот же мир, о котором мы знаем независимо от «путей», проходимых к нему ребенком, и который существует в некоторой универсальной системе отсчета. И мы считаем, что процесс обучения состоит в том, что если, например, ребенок стоит в точке А и у меня, у универсального наблюдателя, есть знание о том, что происходит в точке А, то я могу передать ребенку это знание, или он, проделывая соответствующие шаги по своей какой-то скрытой динамической «кривой», со временем все равно придет в итоге к пониманию того, что я уже понимаю. Но, во-первых, весь опыт исследований лингвистики и психологических исследований, и антропологических исследований, и мифологических исследований лишь подтверждает древнюю, еще Сократу и Платону известную истину, что знание не пересаживаемо из головы в голову в силу одного простого онтологического обстоятельства: никто вместо другого не может ничего понимать, понять должен сам и, более того, если уже не понял, то вообще не поймешь сообщаемое: понять можно лишь то, что уже понял (и в этом смысле – из себя, «вспоминая»). И этот акт понимания «самим» не выводим ни из какой цепи обусловливания этого понимания, он должен совершиться или не совершиться, т. е. знание не перекачиваемо в другую голову, как в некую пустоту перекачивалась бы жидкость. Я могу пройти максимально далеко, максимально сузить воронку, внутри

которой должен вспыхнуть акт понимания, но акт понимания – он должен вспыхнуть, и он не выводим из всего того, как я суживал эту воронку. Весь опыт и в современной философии (опыт экзистенциализма, например, феноменологии, антропологии и т. д.) довел до понимания одну простую вещь, а именно – что есть одно существенное, не психологическое вовсе, онтологическое обстоятельство, которое делает уникальными некоторые акты, которые обозначаются словом «ответственность», «решение», «выбор», «понимание» и пр. <...>

Есть уникальность явлений, которая классической онтологией не учитывается. Известно одно фундаментальное различение, которое существует в последней. Оно состоит в следующем: различены мир сущностей и мир явлений, на которых мы эти сущности наблюдаем. Акт воспроизводства и снова наблюдения явлений, поскольку этот акт, по трансцендентальному правилу, не влияет на объективный ход вещей, никоим образом не меняет сущности. Это элементарный постулат объективного физического исследования. Но, кстати, именно классического, поскольку он колеблется и нарушается уже, например, в квантовой механике. И поэтому стоит разобраться в приведенной элементарной истине.

Мы знаем, например, что у человеческой любви как события, как чувства есть определенное значение, сущность. И мы, в общем-то, именно это, нами не отменяемое и не изменяемое, переживаем в своей жизни, как и заново будут переживать другие люди, миллионы других, что, конечно, не меняет смысла и значения дела. Оно есть то, что есть, имеет свою сущность. А с другой стороны, есть определенный опыт, опытное ее явление. Скажем, мне 16 лет и взрослый, опытный человек объясняет мне, какова природа любви и ее законы,

говоря, например, что «чем меньше женщину мы любим, тем больше нравимся мы ей» (это мы можем и у Пушкина прочитать). И я не могу этого понять и усвоить. Почему? По глупости или детской незрелости что ли, как мы и предполагаем? Нет, понимание здесь в принципе невозможно, и разницу здесь нельзя устранить ссылкой на приближенный «несовершенный» характер всякого эмпирического явления сущности. (Представьте себе, что проблема измерения в квантовой механике решалась бы такого рода ссылкой!). Есть такие вещи, которые должны быть пережиты и заново установлены, непрестанно рождаясь в лоне бесконечных потенций. Важно происходящее внутри индивидуального переживания, во внутрь протянутом измерении эмпирического факта испытания, т. е. эмпирического факта эмпирического опыта (в этом смысле эмпирией будет и его теоретическое содержание – например, как выбор языка описания). Он не есть простое, рефлексивно приводимое к форме повторение сущности, а имеет значение для самой сущности в том смысле, что в этих случаях мы не можем предполагать заранее данного (или пред-данного) мира законов и сущностей, по отношению к которому сознание было бы лишь отражением и который лишь ожидал бы быть нами познанным, приближаясь к нам – по мере суммирования нами относительных истин – из вечной дали асимптоты абсолютного знания. Невозможность придать реальный физический смысл существованиям в готовом мире идеальных сущностей и законов (а именно его допущение стоит за такой картиной нашего движения к истине) вполне ясна, если всмотреться, например, в ту картину, которая получается в случае так называемой волны вероятности или шредингеровской функции, лишь квадрат которой имеет в квантовой механике физический смысл (и притом с заходом

в комплексную область фазового пространства), и этот смысл существенно конституируется фактом эксперимента и теоретически языкового выбора – как эмпирически имевшим место, а не идеально предположенным (хотя, казалось бы, он должен был бы быть лишь фактом еще одного наблюдения сущности). Его значение должно быть учтено в физической картине мира или, в случае философии, в онтологии.

Короче говоря, определенные уникальные явления имеют последствия для больших систем, для мира, для того, во что и в какую форму отольется его структура или его онтология.

Для человеческих же существ речь идет о формативных последствиях: от индивидуации мира эмпирическим его испытанием зависит, кем и каким я буду, многое во мне и в моей судьбе развернется в зависимости от той уникальной формы, в которой я, скажем, влюбился или проделал первый опыт любви, как и любого другого существенного человеческого качества и состояния. И меня ничто не может освободить от этого, так же как обучить истине меня нельзя, – я должен ее сам понять, как уже говорилось выше. И это не простой, формальный привесок, растворимый в словах: «каждому нужно что-то пережить», «самому нужно испытать» и т. п. Нет, обращение к индивидуальности физического события явно влечет за собой существенные философские, онтологические последствия, говорящие о том, что в определенных предметных областях имеет место такое отношение сущности и явления (как и других категорий), которое требует изменения привычных рамок нашего мышления. <...>

Фрагмент 2. Из раздела «Символический элемент рациональности»

Напомню то, что уже говорилось об особых многообразиях «целых как многих», где в точках пересечения мира и его наблюдения мы имеем дело с объектами, относящимися к ряду рядов, но ни к какому из них в отдельности, и которые похожи на так называемые «размытые множества» в математике (никакое свойство таких объектов не может быть представлено как множество, состоящее из отдельных дистинктных предметов). Тем более в области мышления о мышлении нужно приостановить в себе манию наглядности. В XX веке, как в физических рассуждениях, так и в анализах сознания, мышления это требование (и его выполнение) особенно ясно проступило, вышло на передний план.

Я приведу один простой пример. В экспериментах в физике известна картина интерференции и разброса электрона при пролете через решетки, открываемые или закрываемые. Одна закрыта, открыта другая, обе закрыты или обе открыты. И часто в понимании этого процесса как бы само собой полагают, что электрон так же пролетает через отверстия решетки, как кирпич пролетал бы через окно. Полагают так, потому что язык (содержащий предметные термины – «отверстие», «электрон – тело») так говорит. Но стоит так думать, как исчезает понимание (появится в том числе и «свобода воли» электрона). Электрон не летит в указанной картине так, как кирпич пролетает через окно. Но думать сказанное (мы ведь говорим в языке и не можем изобрести не наглядный язык, т. е. не имеющий предметных референтов: можно говорить о чем-то ненаглядном, но само говоримое не может не быть им) предполагает в акте одновременно удерживать всю координацию различных

слоев и уровней физической теории (в семантике, синтаксисе и т. д.), все посылки и допущения дистинктно применяемого в данный момент термина физической теории.

В другом примере и Эйнштейн и Нильс Бор обращали внимание на то, что в формулах и построениях физики, и в теории относительности, и в квантовой механике фигурирует одна немаловажная деталь – значение «корень из минус единицы»; например, в квантовой механике ячейки фазового пространства заполняются из области комплексных значений, из комплексной поверхности. А комплексные значения, как известно, – это значения, содержащие в себе мнимые числа. И ясно, что в суждениях с такими мнимостями для обозначаемых ими определенных явлений и процессов в мире необходима способность к ненаглядному постижению – так же, как и для действий систем или эффектов целостности, о которых говорилось выше.

И здесь я сделаю один неортодоксальный шаг, бросающий свет с этой новой стороны на упоминавшуюся превращенность действия в системе. Ненаглядное или символическое постижение, как я сказал, выполняется, если совершается полное мысленное действие, т. е. на каком-то усилии (предполагающем эффект бесконечности) в одном акте мысленного действия «держатся» вместе вся координация уровней, все посылки и допущения этого акта. А если не держатся (а вся ситуация продолжает действовать)? Тогда мы имеем наглядность ненаглядного – превращенное действие системы или превращенную форму, превращенную феноменальность. Акты мышления, как и реальные акты в социальных системах, вовсе не всегда в полном виде выполняются на уровне их агента, хотя тем не менее выполняются в целом, т. е. выполнение их возможно не в полностью развернутом виде, а при условии, что имеются

наглядности, замещающие неразвернутые и пропущенные звенья и делегировано их представляющие. Фактически, такого рода феномены в нашем сознании, как кристаллизирующие ориентиры нашей деятельности, нашей мотивации и средств ее реализации, как ядра, мобилизующие вокруг себя мир, появляются в качестве замещающих представителей опущенного и неохваченного (или вообще ушедшего). И этому служит именно их наглядность, хотя она есть мнимость, т. е. ее референтному предмету не может быть определено место в действительном существовании в реальных его терминах. Короче говоря, то, чего я не знаю, сказывается через наглядную мнимость, мне представляющуюся, и через нее, через ее оперативность, реализуется, слагается с другими элементами действия.

Это имеет простой оттенок в области суждений о социальных системах. Каким образом вообще термин «закон» может применяться к действиям свободных и сознательных существ? Не случайно Лейбницу постулатом предустановленной гармонии приходилось отвечать на загвоздку, что и законы есть, и действует все-таки свободный индивид, каким-то чудом своим свободным действием (и не зная всего) реализующий именно то, что предписано в законе. Конечно, если предположить, что есть некий демон или бог, наблюдающий все ответвления и обратные эффекты в системе, и ничто из этого не ускользает от его внимания и возможности вмешательства, то тогда, естественно, законы выполняются и при таких действиях, и осмысленно применение самого термина «закон». Но мы не можем предположить, что каждый отдельный агент системы является вот таким вот демоном, пробегающим и держащим в своей голове все ответвления социальной системы и свои возможности вмешательства в нее, чтобы совершить

малейший акт, соответствующий законам этой системы. Маркс в этой ситуации как-то сказал странную фразу, а именно, что агенту капиталистической экономической системы нет никакой необходимости знать законы ее, чтобы поступать сообразно им и эффективно (с точки зрения системы) действовать. Ему достаточно видимости (феноменально превращенной), которая порождена системой и является представителем этих неизвестных законов, наглядно встроенным в зрение индивида. Например, действие, ориентирующееся по такому «желтому логарифму», каким является цена труда, более адекватно, точно и эффективно, чем действие, которое желало бы себя построить на основе законов трудовой теории стоимости. Человек разорился бы или вообще не мог бы со смыслом действовать в данной экономике – именно потому, что разрушил бы в себе знанием особые целостности, особые наглядности, которые представляют и замещают в себе, в своей неразложимости, тысячи и тысячи не прослеживаемых мышлением связей. <...>

Текст М. К. Мамардашвили может звучать для неподготовленного читателя довольно туманно, хоть и поэтично, однако основная мысль его читается внятно и четко: наука стала заниматься такими предметами, для которых «старые» рамки не подходят и должны быть выработаны новые.

Аргументы автора понятны, если дать себе труд вникнуть в сложный текст, однако столь ли радикально противоречие? Действительно ли мы не мыслим мнимые числа существующими, хоть и абстракциями? Такая ли уж проблема для человека считать абстракцию существующей? Разве нам сложно помыслить *синеву* или *непоколебимость*? Действительно ли невоспроизводимы *все эксперименты* (учитывая, что их результаты при корректной организации процесса таки совпадают)? На самом ли деле эти очень интересные нюансы свидетельствуют не о том, что критерии научности не следует понимать упрощенно (что естественно – речь ведь идет о науке, это явление заведомо непростое), а о том, что не следует добиваться воспроизводимости результатов и процедур, не следует фиксировать результаты наблюдений, не следует искать и описывать закономерности и проводить исследование объективно (то есть так, чтобы оно минимально зависело от личности исследователя)? Представляется, что проблема заострена искусственно (и это нормально, потому что решение конкретной задачи зачастую требует намеренного заострения той или иной проблемы). Да, по мере развития научного знания, появления новых отраслей исследований и вообще всеобщего развития и прогресса меняются и представления о том, что значит объективность, реализм и наблюдение. Но представляется несколько преувеличенным утверждение о необходимости или целесообразности полного отказа от них и выработки качественно новой методологии науки. Думается, что, сталкиваясь с предметом или процессом, в отношении которого признаки научности кажутся неприменимыми, стоит внимательно проанализировать природу этой неприменимости – в чем, собственно, дело. Возможно, в основе противоречия лежит просто слишком узкое понимание того, что означает «мыслится реально

существующим» или «может быть воспроизведено». Конечно, в аналоговой среде, в отличие от цифровой, вообще ничто не может быть (ни предмет, ни процесс, то есть «быть» здесь в том числе означает и «произойти») совершенно одинаковым. Но насколько стоит делать из этого проблему, вопрос индивидуальной философии каждого человека, во всяком случае, до сих пор эта особенность аналоговой среды не оказала критического влияния на науку.

Задание учащимся: полученный список нужно разделить на группы по следующим признакам:

- что они характеризуют – исследование как процесс (научная деятельность) / исследование как результат (научный продукт),

- чем они являются – признаком/критерием/требованием,

- какую сторону исследования (и процесса, и результата) они характеризуют – форму/содержание.

Получившиеся группы визуализировать в виде таблицы или схемы.

Перед началом выполнения этого задания нужно принять во внимание несколько обстоятельств.

1) Задание сформулировано таким образом, что все характеристики точно можно отнести к одной из предложенных в каждом пункте групп. При этом на группы «признак/критерий/требования» их можно разделить без пересечений, то есть каждая окажется или одним, или другим, или третьим.

В то же время одна и та же характеристика может описывать свойство и процесса, и результата и быть присуща как форме, так и содержанию исследования.

2) Достаточно очевидно, как минимум из курса риторики, что такое форма и содержание исследования как результата – научного текста. Несколько менее явно это разделение для исследования как процесса – научной деятельности. Однако ситуация по сути такая же: у

исследования как процесса есть содержательная часть, *что* именно мы изучаем – что именно мы пытаемся установить, на что направлен эксперимент, что мы проверяем или доказываем, и формальная часть – то, *как* мы это делаем – с помощью каких методик, процедур, инструментов, подходов, как анализируем и структурируем полученные сведения и выводы.

3) Понятия «признак», «критерий» и «требование» допускают вариативные толкования, они не являются строгими терминами. Но очевидно, что, для того чтобы разбить характеристики на группы «признак/критерий/требование», необходимо определить и зафиксировать эти понятия. Причем в данном случае – для цели разделения объектов на группы – особенно важно не просто дать толкования этим словам, а определить их так, чтобы ясно выявить их различия, четко отделить области их определений (объемы понятий) одно от другого.

Для этого нужно сначала выявить их общий признак, чтобы свести определения в одну парадигму.

Проиллюстрирую этот тезис на другом примере. Если мы определим понятия «мужчина», «офтальмолог» и «взрослый» по отдельности, то очень велика вероятность, что мы столкнемся со сложностями в отнесении к одному из этих понятий мужчины-офтальмолога и мальчика. Они будут «вроде как» подходить, но «не совсем очевидно» и т. д.

Это связано именно с тем, что для логических операций над понятиями определения должны обязательно даваться в одной парадигме, то есть с выделением общей части и части, наоборот, различающей эти понятия. Если в случае с мужчиной, офтальмологом и взрослым общей частью будет «человек», то понятия будут соотноситься одним образом, а если «взрослый человек» – то другим. В зависимости от того, какую задачу мы преследуем при разделении на группы объектов, может быть целесообразным как одно, так и другое. Например, обувь в обувном магазине (этот пример приводит в своей книге «Искусство правильно мыслить» А. А. Ивин [Ивин]) разделена на мужскую, женскую и детскую, что с точки зрения классификации является вопиющим нарушением, но удобно в практике.

Главное, что это обязательно нужно сделать до начала разделения объектов и придерживаться далее этих определений до самого конца работы с получившимися группами.

Важно, что свобода в определении у исследователя, естественно, не безгранична. Как бы это ни было удобно для классификации, мы не можем определить мужчину как бабочку, например, а офтальмолога как обувь.

Кроме того, в отношении терминов необходимо либо использовать те определения, введенные в научный оборот в рамках научного направления или школы, к которой относит себя исследователь, либо обосновывать использование другого определения (особенно – собственного).

Вернемся к понятиям «признак», «критерий», «требования».

В целях разделения характеристик научного на группы для нас будет полезно выделить в них следующие смысловые блоки:

- требование – всегда предъявляется к объекту со стороны кого-либо (требование обязательно чье-то); требование означает, что объект должен обладать неким признаком, чтобы удовлетворять представлениям тех, с чьей стороны оно предъявляется, о необходимом качестве объекта. В нашем случае речь идет о требованиях *научного сообщества*. Научное сообщество считает, что объект, претендующий на научность, надлежащего качества, если он обладает определенными признаками. Такие признаки будем относить к «требованиям».

- критерий – всегда касается выбора или оценки объекта (критерий обязательно чего-то, какого-то действия); критерий означает, что наличие данного признака или показателя по признаку, позволяет отнести объект в некую группу. В нашем случае критерием будем называть такие признаки, *наличие* которых позволяет однозначно утверждать, что объект претендует на то, чтобы быть научным (следует обратить внимание – не является научным, а *претендует* на это качество, возможно, таки не дотягивая до него).

- поскольку очевидно, что в данной парадигме и требования, и критерии являются частными случаями понятия «признак», признаками будем называть такие признаки, которые не являются ни критериями, ни требованиями. То есть могут характеризовать и другие объекты, не являющиеся научными и даже не имеющие вообще никакого отношения к науке. То есть *отсутствие* этих признаков ставит под сомнение научность объекта классификации, а наличие – ничего не доказывает. Выражаясь в научном дискурсе, для критерия *маркированным* является наличие, а для признака – отсутствие.

На первый взгляд, мы получили разделение на большой, маленький и зеленый, потому что относительно требования маркированность наличия/отсутствия мы не установили, а возможность быть предъявленным со стороны кого-то плохо проверяется, особенно в случае отсутствия опыта взаимодействия с субъектом, предъявляющим требования.

Устраняет эту неясность установление отношений между признаками, критериями и требованиями. Если внимательно вчитаться в формулировку того, как мы определили требование, видим там: «Научное сообщество считает, что объект, претендующий на научность, *надлежащего качества*, если он обладает определенными признаками». То есть требования в принципе предъявляются только к тому, что почему-либо уже признается научным, и соответствие требованиям определяет *качество* этого объекта. То, что не отнесено к науке на основании критериев и признаков, объектом требований не станет.

Получаем пошаговую цепочку возрастания «строгости». Признак есть? Ищем критерий. Критерий есть? Предъявляем требование.

При выполнении этого задания желательно постараться связать группируемые характеристики в такие цепочки взаимосвязанных шагов «естественного отбора».

Если при выполнении задания у кого-то из учащихся возникнет потребность в другом определении этих понятий, то он должен написать свои определения в явном виде. При этом

если определения не будут содержать логических или смысловых ошибок, то оцениваться разделение признаков будет в заданной учащимся парадигме.

Если таблицы в ходе выполнения задания получатся разными, целесообразно рассмотреть все варианты, выявить причину разницы и выбрать наиболее удобную для восприятия.

Удобство для восприятия – это очень существенный критерий оценки визуализации как части научного функционального стиля языка; при создании таблиц, схем, графиков и любого другого рода изображений исследователь должен стремиться не к тому, чтобы сделать этот фрагмент максимально компактным и емким, а к тому, чтобы сделать его однозначно и точно воспринимаемым, а значит, простым.

В качестве базового (или в случае, если такое задание дать для самостоятельного выполнения не получается по часам) предлагается такой вариант таблицы.

	признак	**критерий**	**требование**	
Исследование как процесс (научная деятельность)	Цель – установление истины	Воспроизводимость результата, наблюдения, доказательства, в том числе другим субъектом, на других объектах класса	Определенность и постоянство методологии исследовательских процедур	**содержание**
	Задача – описание мира, выявление объективных законов	Системность	Объективность	
	Прогрессивное развитие	Теоретичность	Обоснованность	
	Реализм	Опровержимость	Проблемность (полезность)	
	Эмпиричность	Совместимость	Опровержимость	**форма**
	Применение специального инструментария – приборов, методов и приемов		Верифицируемость	
	Принципы: - простоты - консерватизма - универсальности - красоты			

Исследование как результат (научный продукт)	Реализм	Системность	Объективность	**содержание**
		Теоретичность	Обоснованность	
		Совместимость	Верифицируемость	
	Принципы: - простоты - консерватизма - универсальности - красоты	Дискурсивность	Определенность и постоянство понятий	**форма**

Подытожим.

Деятельность считается научным исследованием, если

с точки зрения содержания:

- результат, опыты, доказательства – воспроизводимы, в том числе другим субъектом на других объектах класса,
- исследование предмета производится системно (элементы, взаимосвязи, среда),
- из полученных результатов делаются выводы теоретического характера;

с точки зрения формы:

- данные, полученные в ходе деятельности, встраиваются в существующие теории или опровергают их.

От научной деятельности научная общественность требует, чтобы

с точки зрения содержания:

- деятельность была направлена на поиск ответа на конкретный вопрос (была полезной),
- методология и исследовательские процедуры были определены́ и постоянны,
- методология и результаты не зависели от субъекта исследования (были объективны),
- исследование опиралось на доказательства и истинные положения (действия и выводы были обоснованы);

с точки зрения формы:

- деятельность была ориентирована на поиск возможных ошибок в собственных и в чужих положениях, методиках и результатах,

- результаты были проверяемы, для чего требуется открытость исходных данных, методик и подходов (верифицируемость).

Научная деятельность характеризуется необходимыми, но не достаточными признаками (эти признаки могут характеризовать и другие виды деятельности, они не являются требованиями со стороны кого-либо, их наличие еще не говорит о том, что деятельность научна, но их отсутствие говорит о том, что она, как минимум, не вполне научна):

с точки зрения содержания:

- цель – установление истины,

- задача – описание мира, выявление внутренних закономерностей,

- предмет рассмотрения полагается реально существующим,

- новые теории и подходы вытесняют старые, а не сосуществуют с ними;

с точки зрения формы:

- основана на практике – эксперименте, наблюдении (эмпиричность),

- применяется специальный инструментарий (приборы, методы, приемы),

- исследователь в своих действиях исходит из принципов

▪ простоты (не допускает необоснованного усложнения гипотез),

▪ консерватизма (необходимость новаций всегда обоснована),

▪ универсальности (исследование касается не конкретного объекта, а класса объектов),

▪ красоты (гипотеза, теория, доказательство должны быть элегантны).

Научный продукт определяется по следующим критериям

с точки зрения содержания:

- предмет описан системно,
- результаты исследования оформлены в виде логичной теории (гипотезы),
- теория (гипотеза) встраивается в существующие теории или опровергает их;

с точки зрения формы:

- текст написан в научном дискурсе (использован научный функциональный стиль языка, применяются специальные термины и определения).

От научного продукта научная общественность требует, чтобы

с точки зрения содержания:

- предмет был описан объективно, вне зависимости от субъекта,
- новые положения были обоснованы и основывались на истинных положениях,
- научный продукт содержал данные, необходимые для верификации результата;

с точки зрения формы:

- используемые понятия были определены́ и постоянны.

Научный продукт характеризуется необходимыми, но не достаточными признаками

с точки зрения содержания:

- предмет исследования описан как реально существующий;

с точки зрения формы:

- текст составлен в соответствии с принципами

- простоты,
- консерватизма,
- универсальности,
- красоты.

Рассмотрим цепочки «признак – критерий – требование», выстроенные в этой таблице.

1. С точки зрения содержания научной деятельности:

1) Деятельность не рассматривается как научная, если ее цель – не установление истины. Если цель деятельности – установление истины, то в случае, если результат, наблюдения и доказательства воспроизводимы, в том числе на других объектах класса и/или другими субъектами, деятельность, скорее всего, научная. В этом случае к ней предъявляется требование определенности и постоянства методологии и исследовательских процедур. Нет смысла требовать определенности (то есть описания, фиксированности) процедур, если результаты не воспроизводятся вообще или воспроизводятся только на одном объекте, например, нет смысла оценивать воспроизводимость результата и требовать постоянства процедур от заведомо ненаучной деятельности, преследующей другие цели.

2) Если не решается задача описания мира и выявления существующих в нем законов и закономерностей, деятельность не рассматривается как научная. Если решается именно эта задача и выявление закономерностей относительно конкретного предмета изучения производится системно, деятельность может претендовать на научность. В этом случае к ней предъявляется требование объективности, то есть результат принимается в том случае, если методология и результаты не зависели от субъекта исследования (результат, полученный через спиритический сеанс, вряд ли будет принят в качестве научного). Нет смысла добиваться объективности в отношении случайного набора несвязанных опытов. Нет смысла оценивать, системно ли анализируется тот или иной объект, если решается задача не выявления закономерностей, а, допустим, повышения его привлекательности. В такой постановке задачи деятельность научной не является. Хотя в постановке «от чего зависит привлекательность N» – может являться. Дело в нюансах.

3) Если предлагаемое новое (новая гипотеза, теория, вывод) не уточняет/меняет/опровергает прежнее состояние

знаний по тому же вопросу, то есть отсутствует признак прогрессивного развития, такая деятельность не рассматривается в качестве научной. Деятельность, результат которой вписывается в отношения эволюции или революции с предыдущим состоянием вопроса, оценивается как научная, если из полученных результатов делаются выводы теоретического характера. К такой деятельности, в свою очередь, предъявляется требование обоснованности – основываться на доказанных или принимаемых как истинные положениях и выводить собственные выводы в соответствии с законами логики. К тому, что не содержит выводов, не имеет смысла предъявлять это требование. Выводы, не меняющие ничего в состоянии вопроса, относительно которого они сделаны, не имеет смысла оценивать с точки зрения обоснованности, так как они не станут фактом науки. Здесь должно возникнуть возражение о том, что иногда подтверждение старого результата может быть значимым научным результатом само по себе. Противоречие мнимое. Эти некоторые случаи сводятся к ситуациям, когда «старые», имеющиеся выводы – спорные или подвергаются оспариванию. Тогда получение тех же выводов заново – действие научное, направленное на подтверждение одних выводов и опровержение тех, что являются основанием для оспаривания.

4) Если предмет не мыслится исследователем как реально существующий, то обсуждать научность действий над ним никто не станет. Обращу отдельно внимание еще раз: именно *сам исследователь* считает, что предмет его исследования существует. Для того чтобы эта убежденность не оставалась предметом веры, а являлась основанием для научного изучения предмета, исследователь должен сформулировать, при каких обстоятельствах он признает, что его гипотеза или теория неверна. Так как любое количество подтверждений собственной правоты менее значимо, чем единственное опровержение. Если же исследователь формулирует гипотезу относительно предмета, который он полагает реальным и задает границы, в случае выхода за которые его гипотеза должна быть признана опровергнутой, то научное сообщество потребует, чтобы гипотеза была полезной.

Если ты отстаиваешь право изучать ЭТО, покажи, на какой вопрос ищем ответ, зачем нам твои усилия. Если нет никакой проблемы, разрешение которой требует этого исследования, то действия исследователя не отвечают требованиям научного сообщества.

Вообще говоря, требование полезности, или проблемности, – ключевое, хотя и одно из наиболее часто нарушаемых. Но тут мы переходим в разрез хорошо и плохо. Как и всем остальным, наукой можно заниматься хорошо, а можно плохо, к сожалению. Почему оно так важно с моей точки зрения. Потому что, если оно не выполняется, даже при условии выполнения всех остальных требований, соответствия всем критериям и наличия всех признаков, результат исследования не будет иметь никакой ценности и не войдет в научный оборот (во всяком случае, надолго) как самостоятельный факт науки. Хотя при этом он может иметь практическую значимость и быть полезен кому-то как вспомогательный материал и т. п.

Предельно важно при научной деятельности (не учебной, а «боевой») понимать, на какой вопрос ищем ответ.

К постановке проблемных вопрос мы еще вернемся в одной из следующих тем. Здесь остановлюсь только еще на одном дискуссионном вопросе: можно ли считать наукой то, что изучает не природу, а артефакты? Если ребенок изучает, какая закономерность в том, когда из крана течет вода какой температуры, его деятельность не является научной, даже если он применяет приемы научного эксперимента, допустим. Потому что нет вопроса, который требует решения. Как работает кран – известно. Это неизвестно лично ему и он восполняет свое незнание – опросом взрослых или экспериментом. То же самое делаете вы, когда изучаете протокол, устройство или алгоритм.

Но дело тут не в том, что они созданы человеком, они артефакты. А в том, что известно, как они работают, нет вопроса, ответ на который до сих пор не получен. Мы можем изучать артефакты с целью их датировки, атрибуции, определения их назначения (если это ископаемый археологический объект), уточнения какого-то исторического события и со многими другими целями. И такое изучение будет научным. Это касается

не только древних предметов. Может понадобиться изучение рукотворной системы, если ее поведение, например, отклонилось от прогнозируемого при создании. Скажем, она оказывает на какие-то элементы среды неожиданное влияние или неожиданным образом реагирует на проявления среды. Такое изучение, если в его основе лежит сформулированная научная проблема, тоже будет научным.

2. С точки зрения формы научной деятельности:

1) Если выкладки основаны только на логике, а не на фактах, то деятельность не может претендовать на то, что она научная. Высказав гипотезу по ключевому вопросу исследования, мы обязательно должны проверять ее на предмет соответствия фактически наблюдаемому положению дел. Если такая проверка имеет место и соответствует критерию «совместимость», то есть гипотеза анализируется на предмет того, как она соотносится с ранее существующим состоянием вопроса, то исследование начинает выглядеть научным. Именно поэтому исследование без раздела «история вопроса» всегда выглядит, как минимум, подозрительно, а как правило, эти подозрения оправданы и исследование нежизнеспособно. Если исследование эмпирично и «совместимо», научная общественность предъявит к нему требование критичности – собственные и чужие результаты должны подвергаться сомнению и проверке. Результаты исследования, не вписанного в существующую парадигму (противопоставленность ей – тоже вписанность), в любом случае не будут иметь веса, поэтому и требования опровержимости предъявлять никто не будет. Не говоря уже о гипотезе, которую исследователь сам даже не удосужился проверить практикой. Опровержимость определяет именно достаточность проведенных проверок, и если они не проводились вовсе, то смысла в этом требовании не будет.

2) Только в случае наличия признака применения специального инструментария (приборов, методов и приемов) имеет смысл предъявлять требование верифицируемости. Хотя само по себе наличие этого признака, конечно, ее не гарантирует.

3) Принципам простоты, консерватизма, универсальности и красоты в части формы исследования как процесса никакие требования не соответствуют, так как на стадии процесса исследования они, как правило, просто не становятся достоянием общественности, это вопрос скорее самоконтроля. Исследователь должен понимать, что чрезмерное усложнение и необоснованное новаторство весьма вероятно приведут к неконтролируемой ошибке, сосредоточенность на одном (или одной группе) объектов исследования, а не на классе может дать искаженный результат, а некрасивое рассуждение скорее всего неверно. Но до тех пор, пока не будет создано исследование как научный продукт, это понимание останется фактом биографии исследователя, никто с него ничего по этому поводу не потребует. Кроме учебных проектов, конечно, предпринимаемых для выработки навыков.

3. Научному исследованию как продукту, тексту – с точки зрения содержания – соответствуют следующие цепочки:

1) Если объект описывается не как реально существующий, как научное описание это рассматриваться не будет. Если описываемое как реально существующее описывается системно, то это, вероятно, научное описание. Тогда к нему предъявляется требование объективности. То есть не я вижу объект таким-то, для меня он такой-то и на меня он таким образом воздействует, а «вообще», для всех (или хотя бы «для всех, кто…»). Отсюда вытекает странная особенность – многие исследователи полагают, что их текст выглядит объективнее, если писать «мы» вместо «я». Конечно, это не делает текст объективнее, а вот подозрение в множественности личности автора зарождает.

2) Если текст излагает гипотезу или теорию, он, вероятно, научный. К такому тексту предъявляется требование обоснованности. Теория, не подкрепленная доказательствами, будет носить научный характер, но не будет удовлетворять требованиям к качеству работы.

3) Если гипотеза или теория, изложенная в тексте, введена в контекст остальных существующих гипотез или теорий по данному или по смежным вопросам, то есть текст

соответствует критерию совместимости, он определенно научный. В этом случае к нему предъявляется требование верифицируемости – в нем должны быть даны инструменты для проверки, дающие возможность убедиться в том, что выводы получены так, как утверждает исследователь.

4. С точки зрения формы научный текст характеризует всего одна цепочка:

1) Если текст не отвечает принципам простоты, консерватизма, универсальности и красоты, есть основания сомневаться в его научности. Если отвечает и при этом написан на языке, характерном для данной науки (соответствует критерию дискурсивности), то он, вероятно, научный (по форме! Речь идет о форме!). В этом случае к нему предъявляется требование определенности и постоянства понятий.

Может возникнуть вопрос (хорошо, если он возникнет, значит, учащиеся вникают), чтó мешает собрать цепочки иначе и соединить характеристики теми же словами, но в другом порядке. Цепочки построены на основании содержания входящих в них характеристик. Проверить, правильно ли они составлены, если в этом есть сомнение, можно, попробовав составить их иначе и посмотрев, более или менее логичные шаги получаются в этом случае. При наличии интереса со стороны учащихся такое задание – «покрутить» цепочки – можно дать в качестве задания на дом.

Второй вопрос, который может возникнуть в заинтересованной аудитории, – это вопрос о пустых клетках. Почему не все цепочки трехчленны?

В науке сложилось представление о достаточности этих характеристик для оценки научного и отличения его от ненаучного. Однако в качестве упражнения будет полезно попробовать сформулировать характеристики для пустых ячеек. Практического смысла в этом нет, но это интересное упражнение. Более того, нет нужды скрывать, в том числе и от учащихся, что составление этой таблицы тоже является не более чем упражнением в анализе. Практический смысл из нее извлечь можно (например, именно цепочки помогут найти корень проблемы, а не устранять следствие из недостатка

вместо него самого), но без нее можно обойтись, руководствуясь просто сплошным перечнем признаков научности или вообще следуя своей интуиции. Однако, с одной стороны, это поможет настроить группу на специфичный для исследовательской работы способ чтения текста – с восприятием его не как вещи в себе, а в соотнесенности с другими, говорящими о том же предмете с разных сторон или разными словами, либо частично (а то и полностью) противоречащими ему. С другой стороны, то, насколько это задание окажется для учащегося простым или, напротив, сложным, позволит оценить степень его готовности к аналитической работе, а то, какой отклик встретит в каждом из учащихся такое упражнение, может дать им самим и преподавателю основания для предположения о склонности к анализу в чистом виде как самоценному занятию.

Далее этой таблицей (или таблицей одного из учащихся, выбранной в качестве наиболее удобной и наглядной) мы будем пользоваться при анализе научных текстов и процессов исследования, а также при проведении собственных исследований и фиксации их результатов.

Задание на дом: подобрать два научных произведения (книги или статьи – как угодно), одно из которых кажется учащимся «хорошим», а одно – «плохим». Подготовить устное выступление с результатами анализа этих произведений с точки зрения выявленных признаков.

В случае если такое задание на дом дать невозможно или нецелесообразно, попробовать применить на практике сформулированные представления о научности нужно на материале подготовленных преподавателем статей. Статьи должны быть обезличены, чтобы авторитетность (или ее отсутствие) авторов не являлась подсказкой о том, какая из статей «хорошая», а какая «плохая». Это нужно выявить самостоятельно и обосновать.

Несколько слов стоит сказать о разделениях класса объектов на два подкласса – таких, как «исследование как

процесс / исследование как результат», «форма/содержание», и не совсем таких.

В нашем случае обе эти пары параметров будут делить объекты на группы без остатка. Однако ни одна из этих пар не является бинарной оппозицией, или дихотомией. Причем, что интересно, по разным причинам.

Бинарная оппозиция, или дихотомия, – это способ деления класса объектов по принципу, который можно просто сформулировать как «если не одно, так другое». Пациент или жив, или мертв. Это бинарная оппозиция. Подклассы класса объектов противопоставляются по наличию/отсутствию некоего признака, называемого дифференциальным, то есть различительным.

Фонемы языка делятся на гласные и согласные. Согласные – на глухие и звонкие. Животные – на самцов и самок. Действия водителя – на разрешенные и запрещенные. Такая оппозиция считается свойственной человеческому сознанию из-за двуполушарности мозга. К этому можно относиться по-разному, однако необходимо признать, что человеку действительно свойственно делить на черное и белое. И с начала XX в. это свойственно ученым, особенно структуралистских направлений.

Противопоставлена бинарной модальная оппозиция (бинарно противопоставлена, кстати). Это оппозиция, включающая в себя два крайних и третий – нейтральный – члены: обязательно – разрешено – запрещено, гласный – сонорный – согласный. Научная основа модальной оппозиции в том, что дифференциальные признаки при определенных условиях могут нейтрализоваться. Глухость-звонкость согласного нейтрализуется на конце слова, пол животного нейтрализуется в глубокой старости и раннем детстве. И тому подобное. Мне лично это кажется недостаточным основанием для выделения особого рода оппозиции, поэтому аргументацию я на этом закончу. В то время как сам факт существования тройных, а не бинарных оппозиций отрицать, конечно, невозможно.

В. А. Конявский предполагает[2], что сознанию человека имманентны тройки, а не пары, но имеет в виду под этим не модальные оппозиции, а нечто другое, в основе чего лежит натуральный логарифм. Я не готова обсуждать правомерность этого подхода детально, но, во всяком случае, он не менее правомерен, чем ссылка на число полушарий мозга. В соответствии с этой концепцией соотношение бинарных и тройных оппозиций должно получаться примерно 20 к 80, по закону Парето (из них 20 % бинарных и 80 % тройных). Моему внутреннему ощущению это, в принципе, соответствует, хотя специальных подсчетов я не производила.

Как бы вы ни сформировали свое собственное отношение к этому вопросу, важно научиться ясно отличать оппозиции от любых других наборов признаков, выбранных по тем или иным причинам для разделения объектов на группы.

Оппозиция всегда имеет в основе своей дифференциальный признак, то есть на том же основании, на котором произведено разделение в этой оппозиции, невозможно сформулировать больше ни одного варианта. По признаку «жизнь» может быть только живое или мертвое. По признаку пол может быть только мужчина или женщина. А по признаку «цвет» может быть… что угодно, хотя по этому признаку разбить на группы объекты тоже можно. Но это не будет оппозицией. Цвет может быть дифференциальным признаком только в одной оппозиции: «цветной/бесцветный». Однако важно избегать искушения формулировать оппозиции по принципу наличие/отсутствие любого случайного признака. Так, бинарной оппозицией получится, например, «бежевый»/«небежевый». Очевидно, что это довольно вырожденный дифференциальный признак и всерьез на него опираться нельзя. Более того, и если анализировать с этой точки зрения откровенно бинарные оппозиции – тоже получится ерунда. Вряд ли многие женщины согласятся с тем, что «женщина» – это отсутствие признака «мужчина».

[2] Эта позиция неоднократно выражалась им в личных беседах и публичных выступлениях.

Теперь посмотрим с этого ракурса на наши пары «исследование как процесс» / «исследование как результат» и «форма»/«содержание». Они выглядят похоже на оппозицию. Однако кроме «формы» и «содержания» можно выделить еще, например, «объем» (причем о форме и содержании чего ни шла бы речь). А в основе разделения на процесс и результат не лежит никакого ясно формулируемого дифференциального признака. Процесс и результат различаются не «по признаку», а по тому, что это такое, различие это сущностное. Для проверки можно попробовать выделить «общую часть», сформулировав, что же мы делим. Кошки делятся по признаку волосатости – на лысых и волосатых. А вот на хвосты, ноги и все прочее – они делятся не по признаку, они из них состоят. Так же с формой и содержанием.

Иметь ясное представление и навык определять оппозиции важно потому, что дифференциальный признак обязательно лежит в основе формулирования категории. Категория должна обязательно охватывать весь класс объектов, для которых она выделяется, и каждый из этих объектов должен характеризоваться наличием только одного показателя по категориальному признаку. Существительное может быть одновременно только одного рода (род существительных, кстати, это категория, в основе которой лежит тройная, а не бинарная оппозиция), и каждое существительное обязательно хоть какого-нибудь рода. Число может быть или четным, или нечетным; или целым, или дробным; или положительным, или отрицательным, или нулем; или рациональным, или иррациональным.

На основании именно дифференциальных признаков строятся корректные классификации. Отличить их можно довольно просто – корректная классификация, во-первых, делит класс так, чтобы каждый объект попал в какую-то группу, но только в одну (то есть она исчерпывающая), а во-вторых, для каждой выделенной группы будут характерны какие-то признаки, нехарактерные для объектов никакой другой группы (то есть она продуктивная, она что-то дает для обращения с этими объектами). Можно разделить все предметы в мире на бежевые и небежевые, но кроме отношения к

бежевости их не будет объединять ничего, поэтому это не классификация, бежевость – не дифференциальный признак для объектов класса «любой предмет». А вот для сыроежек вполне дифференциальным является признак «с красной шляпкой» – такие сыроежки могут быть горькими (а могут не быть, надо проверять). В то время как сыроежки с шляпками любого другого цвета горькими не бывают, можно не проверять.

К сожалению, не будучи доведенными до абсурда, такие ошибки мало бросаются в глаза и поэтому допускаются чаще, чем можно было бы ожидать. Например, разделение объектов класса токен на прислоняемые и подключаемые было вполне всерьез предложено в работе, претендующей на научность. Эта «классификация» была бы оправданна, если бы в этой работе было обнаружено и представлено хотя бы что-нибудь, характеризущее все «прислоняемые» и ни один из «подключаемых». Однако этого не случилось (и не могло, конечно, случиться). Так делать нельзя.

Поэтому имеет смысл тренировать в себе навык выделять дифференциальные признаки используемых понятий, наиболее значимых для вашего исследования. К этому мы будем не раз возвращаться далее.

Задание: на материале эссе Р. Ф. Фейнмана [Фейнман] и любой инструкции по описанию научного эксперимента, например: [14], описать ход правильно построенного эксперимента. Эксперимент может быть произвольный (что сложнее) или любой (то есть какой-то конкретный, но на усмотрение учащегося, из любой удобной ему области знаний).

Читать с. 15–75 книги А. А. Ивина «Искусство правильно мыслить». Подготовиться к обсуждению соотношения понятий, выделяемых в этих разделах книги как ключевые (быть готовым также объяснить, по каким признакам определили, что это понятие относится к ключевым).

В средние века процветало множество нелепых идей, вроде того, что рог носорога повышает потенцию. Затем люди придумали метод, как отделить плодотворные идеи от неплодотворных. Метод состоял в проверке того, работает идея или нет. Этот метод, конечно, перерос в науку, которая развивалась настолько успешно, что теперь мы живем в век науки. И, живя в век науки, мы уже с трудом понимаем, как вообще могли существовать знахари, если ничего из того, что они предлагали, не действовало или действовало очень слабо.

Но даже в наши дни приходится встречать множество людей, которые рано или поздно втягивают тебя в обсуждение НЛО или астрологии, или какой-то формы мистицизма, или расширения границ сознания, новых типов мышления, экстрасенсорного восприятия и т. п. Я пришел к выводу, что все это не относится к науке.

Большинство людей верит в такое количество чудес, что я решил выяснить, почему это происходит. И то, что я называю своим стремлением к исследованию, привело меня в столь трудную ситуацию, где я обнаружил столько хлама, что был просто ошеломлен. Сначала я исследовал различные мистические идеи и опыты. Я погружался в емкость, изолированную от внешних воздействий, и пережил множество часов галлюцинаций, так что об этом мне кое-что известно. Потом я отправился в Эсаленовский институт, рассадник подобного мышления (это удивительное место, и его стоит посетить).

В Эсалене есть несколько больших ванн, вода в которые подается из горячих источников, расположенных на рифе примерно в тридцати футах над океаном. Одно из самых приятных впечатлений я пережил, сидя в одной из этих ванн и наблюдая за волнами, которые разбивались внизу о

каменистый берег, пристально глядя в чистое голубое небо над головой и изучая красивую обнаженную девушку, которая спокойно приходит и забирается в мою ванную.

Однажды я сидел в ванной и увидел прекрасную девушку, которая сидела в ванной с каким-то парнем, который, видимо, ее не знал. Я тут же подумал: «Ух ты! Как бы мне завязать разговор с этой прекрасной обнаженной крошкой?»

Я пытаюсь придумать, что бы такое сказать, когда парень говорит ей: «Знаешь, э, я учусь делать массаж. Можно я попрактикуюсь на тебе?»

– Конечно, – говорит она. Они выходят из ванны, и она ложится на массажный столик неподалеку.

Я думаю про себя: «Какой ход! Мне такое и не снилось!» Он начинает тереть большой палец ее ноги. «По-моему, я чувствую это, – говорит он. – Я чувствую какую-то впадину – это гипофиз?»

Я взрываюсь: «Ты чертовски далек от гипофиза, парень!».

Они посмотрели на меня в ужасе, – я раскрыл себя, – и я сказал: «Это рефлексология!».

Я быстро закрыл глаза и притворился, что ушел в медитацию.

Это лишь пример того, что меня поражает. Я занимался экстрасенсами и псифеноменами, где последним всеобщим увлечением был Ури Геллер, человек, про которого говорили, что он сгибает ключи, проводя по ним пальцем. По его приглашению я отправился к нему в гостиницу, где он должен был сгибать ключи и читать мысли на расстоянии. Чтения мыслей не получилось. Мне кажется, никто не может читать мои мысли. Потом мой сын держал ключ, а Ури Геллер тер его, но ничего не произошло. Тогда он сказал, что это

лучше получается в воде, и вот представьте себе такую картину: все мы стоим в ванной, льется вода, он трет ключ пальцем под водой – и ничего не происходит. Я так и не смог расследовать этот феномен.

Потом я стал думать: а во что еще мы верим? (Тут я вспомнил о знахарях – как легко было бы с ними покончить, установив, что их средства на самом деле не действуют.) И я нашел вещи, в которые верит еще больше людей, например, в то, что мы знаем, как надо учить. Существуют целые школы новых методов чтения, и математических методов и т. п., но если присмотреться, вы увидите, что люди читают все меньше, во всяком случае, не больше, чем раньше, несмотря на то, что мы систематически развиваем эти методы. Вот вам знахарское средство, которое не действует. В этом надо разобраться. Почему они думают, что их методы должны работать? Другой пример – что делать с преступниками? Очевидно, что мы не можем добиться успеха. Мы создали много новых теорий, но не добились сокращения числа преступлений, используя свои методы обращения с преступниками.

Однако все это считается наукой. И, по-моему, обычные люди, которые судят с позиций здравого смысла, запуганы этой псевдонаукой. Учителя, у которого есть хорошие идеи по поводу того, как научить детей читать, система образования вынуждает учить их иначе, а порой и обманывает, заставляя думать, что его собственный метод далеко не так хорош. Или мама непослушных мальчиков, так или иначе наказав их, всю свою оставшуюся жизнь испытывает чувство вины из-за того, что поступила «не правильно», по мнению специалистов.

Мы должны по-настоящему всмотреться в неработающие теории и в ту науку, которая наукой не является.

Я думаю, что упомянутые мной педагогические и психологические дисциплины – это пример того, что я назвал бы наукой самолетопоклонников. У тихоокеанских островитян есть религия самолетопоклонников. Во время войны они видели, как приземляются самолеты, полные всяких хороших вещей, и они хотят, чтобы так было и теперь. Поэтому они устроили что-то вроде взлетно-посадочных полос, по сторонам их разложили костры, построили деревянную хижину, в которой сидит человек с деревяшками в форме наушников на голове и бамбуковыми палочками, торчащими как антенны – он диспетчер, – и они ждут, когда прилетят самолеты. Они делают все правильно. По форме все верно. Все выглядит так же, как и раньше, но все это не действует. Самолеты не садятся. Я называю упомянутые науки науками самолетопоклонников, потому что люди, которые ими занимаются, следуют всем внешним правилам и формам научного исследования, но упускают что-то главное, так как самолеты не приземляются.

Теперь мне, конечно, надлежит сообщить вам, что именно они упускают. Но это почти так же трудно, как и объяснить тихоокеанским островитянам, что им следует предпринять, чтобы как-то повысить благосостояние своего общества. Здесь не отделаешься чем-то простым, вроде советов, как улучшить форму наушников. Но я заметил отсутствие одной черты во всех науках самолетопоклонников. То, что я собираюсь сообщить, мы никогда прямо не обсуждаем, но надеемся, что вы все вынесли это из школы: вся история научных исследований наводит на эту мысль. Поэтому стоит назвать ее сейчас со всей определенностью. Это научная честность, принцип научного мышления, соответствующий полнейшей честности, честности, доведенной до крайности. Например, если вы ставите эксперимент, вы должны сообщать обо всем,

что, с вашей точки зрения, может сделать его несостоятельным. Сообщайте не только то, что подтверждает вашу правоту. Приведите все другие причины, которыми можно объяснить ваши результаты, все ваши сомнения, устраненные в ходе других экспериментов, и описания этих экспериментов, чтобы другие могли убедиться, что они действительно устранены.

Если вы подозреваете, что какие-то детали могут поставить под сомнение вашу интерпретацию, – приведите их. Если что-то кажется вам не правильным или предположительно не правильным, сделайте все, что в ваших силах, чтобы в этом разобраться. Если вы создали теорию и пропагандируете ее, приводите все факты, которые с ней не согласуются так же, как и те, которые ее подтверждают. Тут есть и более сложная проблема. Когда много разных идей соединяется в сложную теорию, следует убедиться, что теория объясняет не только те факты, которые явились начальным толчком к ее созданию. Законченная теория должна предсказывать и что-то новое, она должна иметь какие-то дополнительные следствия.

Короче говоря, моя мысль состоит в том, что надо стараться опубликовать всю информацию, которая поможет другим оценить значение вашей работы, а не одностороннюю информацию, ведущую к выводам в заданном направлении.

Проще всего эта мысль объясняется, если сравнить ее, например, с рекламой. Вчера вечером я услышал, что подсолнечное масло «Вессон» не проникает в пищу. Что ж, это действительно так. Это нельзя назвать нечестным; но я говорю сейчас не о честности и нечестности, а о научной цельности, которая представляет совсем другой уровень. К этому рекламному объявлению следовало добавить то, что ни одно подсолнечное масло не проникает в пищу, если ее готовить при

определенной температуре. Если же ее готовить при другой температуре, то в нее будет проникать любое масло, включая и масло «Вессон». Таким образом, правдивым был смысл, который передавался, но не факт, а с разницей между ними нам и приходится иметь дело.

Весь наш опыт учит, что правду не скроешь. Другие экспериментаторы повторят ваш эксперимент и подтвердят или опровергнут ваши результаты. Явления природы будут соответствовать или противоречить вашей теории. И хотя вы, возможно, завоюете временную славу и создадите ажиотаж, вы не заработаете хорошей репутации как ученый. И вот эта честность, это старанье не обманывать самого себя и отсутствует большей частью в научных исследованиях самолетопоклонников.

Их основная трудность происходит, конечно, из сложности самого предмета и неприменимости к нему научного метода. Однако надо заметить, что это не единственная трудность. Как бы то ни было, но самолеты не приземляются.

На множестве опытов мы научились избегать некоторых видов самообмана. Один пример: Милликен измерял заряд электрона в эксперименте с падающими масляными каплями. И получил несколько заниженный, как мы теперь знаем, результат. Его незначительная ошибка объяснялась тем, что использовалось неверное значение для вязкости воздуха. Интересно проследить историю измерений заряда электрона после Милликена. Если построить график этих измерений как функцию времени, видно, что каждый следующий результат чуть выше предыдущего, и так до тех пор, пока результаты не остановились на некотором более высоком уровне. Почему же сразу не обнаружили, что число несколько больше? Ученые стыдятся этой истории, так как

очевидно, что происходило следующее: когда получалось число, слишком отличающееся от результата Милликена, экспериментаторы начинали искать у себя ошибку. Когда же результат не очень отличался от величины, полученной Милликеном, он не проверялся так тщательно. И вот слишком далекие числа исключались и т. п. Теперь мы знаем про все эти уловки и больше не страдаем таким заболеванием.

К сожалению, долгая история того, как люди учились не дурачить сами себя и руководствоваться полнейшей научной честностью, не включена ни в один известный мне курс. Мы надеемся, что вы усвоили ее из самого духа науки.

Итак, главный принцип – не дурачить самого себя. А себя как раз легче всего одурачить. Здесь надо быть очень внимательным. А если вы не дурачите сами себя, вам легко будет не дурачить других ученых. Тут нужна просто обычная честность.

Я хотел бы добавить нечто, не самое, может быть, существенное для ученого, но для меня важное: вы как ученый не должны дурачить непрофессионалов. Я говорю не о том, что нельзя обманывать жену и водить за нос подружку. Я не имею в виду те жизненные ситуации, когда вы являетесь не ученым, а просто человеком. Эти проблемы оставим вам и вашему духовнику. Я говорю об особом, высшем, типе честности, который предполагает, что вы как ученый сделаете абсолютно все, что в ваших силах, чтобы показать свои возможные ошибки. В этом, безусловно, состоит долг ученого по отношению к другим ученым и, я думаю, к непрофессионалам.

Например, я был несколько удивлен словами моего друга, занимавшегося космологией и астрономией. Он собирался выступать по радио и думал, как объяснить, какова практическая ценность его работы. Я сказал, что ее просто не

существует. «Да, но тогда мы не получим финансовой поддержки для дальнейших исследований», – ответил он. Я считаю, что это нечестно. Если вы выступаете как ученый, вы должны объяснить людям, что вы делаете. А если они решат не финансировать ваши исследования, – что ж, это их право.

Одно из следствий этого принципа: задумав проверить теорию или объяснить какую-то идею, всегда публикуйте результаты, независимо от того, каковы они. Публикуя результаты только одного сорта, мы можем усилить нашу аргументацию. Но мы должны публиковать все результаты.

Я считаю, что это так же важно и тогда, когда вы консультируете правительственные организации. Предположим, сенатор обращается к вам за советом: следует ли бурить скважину в его штате? А вы считаете, что лучше сделать скважину в другом штате. Если вы не опубликуете своего мнения, мне кажется, это не будет научной консультацией. Вас просто используют. Если ваши рекомендации отвечают пожеланиям правительства или каких-то политических деятелей, они используют их как довод в свою пользу; если не отвечают, – их просто не опубликуют. Это не научная консультация.

Но еще более характерны для плохой науки другие виды ошибок. В Корнелле я часто беседовал со студентами и преподавателями психологического факультета. Одна студентка рассказала мне, какой она хочет провести эксперимент. Кто-то обнаружил, что при определенных условиях, **X**, крысы делают что-то, **A**. Она хотела проверить, будут ли крысы по-прежнему делать **A**, если изменить условия на **Y**. Она собиралась поставить эксперимент при условиях **Y** и посмотреть, будут ли крысы делать **A**.

Я объяснил ей, что сначала необходимо повторить в ее лаборатории тот, другой, эксперимент – посмотреть, получит

ли она при условиях **X** результат **A**, а потом изменить **X** на **Y** и следить, изменится ли **A**. Тогда она будет уверена, что единственное изменение в условия эксперимента внесено ею самой и находится под ее контролем.

Ей очень понравилась эта новая идея, и она отправилась к своему профессору. Но он ответил: «Нет, делать этого не надо. Эксперимент уже поставлен, и Вы будете терять время». Это было году в 1947-м или около того, когда общая политика состояла в том, чтобы не повторять психологические эксперименты, а только изменять условия и смотреть, что получится.

И в наши дни имеется определенная опасность того же, даже в прославленной физике. Я был потрясен тем, что мне рассказали об эксперименте с дейтерием, поставленном на большом ускорителе Государственной лаборатории по исследованию ускоренных частиц. Для сравнения результатов этих опытов с тяжелым водородом с результатами опытов с легким водородом предполагалось брать данные чужого эксперимента, проведенного на другой установке. Когда руководителя эксперимента спросили, почему, он ответил, что эксперимент с легким водородом не был включен в программу, так как время на установке очень дорого, а новых результатов этот эксперимент не даст. Люди, отвечающие за программу Государственной лаборатории, так стремятся к новым результатам в рекламных целях (чтобы получить больше денег), что готовы обесценить сами эксперименты, составляющие единственный смысл их деятельности. Экспериментаторам у них часто бывает трудно выполнять свою работу так, как того требует научная честность.

Но и в психологии не все эксперименты так плохи. Например, было поставлено множество экспериментов, в которых крысы бегали по разнообразным лабиринтам, но

они почти не давали результатов. И вот в 1937 г. человек по фамилии Янг поставил очень интересный опыт. Он устроил длинный коридор с дверьми по обе стороны. С одной стороны впускали крыс, а с другой стороны находилась пища. Янг хотел узнать, можно ли научить крыс всегда входить в третью по счету дверь от того места, где их впустили в коридор. Нет. Крысы сейчас же бежали к той двери, за которой еда была в прошлый раз. Возник вопрос: как крысы узнают дверь? Ведь коридор был прекрасно изготовлен и весь был совершенно однообразный. Очевидно, что-то отличало эту дверь от других. Янг очень аккуратно выкрасил все двери, так что поверхность их стала абсолютно одинаковой. Крысы все равно различали двери.

Потом Янг подумал, что крысы ориентируются по запаху, и при помощи химических средств стал менять запах после каждого опыта. Крысы все равно находили дверь. Потом он решил, что крысы, как и всякие разумные существа, могут ориентироваться по свету и расположению вещей в лаборатории. Он изолировал коридор, но крысы находили дверь. Наконец, он понял, как крысы это делают: они узнавали дорогу по тому, как под их лапами звучит пол. Этому он смог помешать, установив свой коридор на песке. Таким образом он закрывал одну за другой все лазейки и, в конце концов, перехитрил крыс и научил их входить в третью дверь. И ни одним из условий нельзя было пренебречь.

С научной точки зрения это первоклассный эксперимент. Такой эксперимент придает смысл всей деятельности с бегающими крысами, так как выявляет истинные ключи к разгадке их поведения. Кроме того, этот эксперимент показывает, какие условия надо соблюдать, чтобы добиться точности и строгости в экспериментах с крысами.

Я изучил дальнейшую историю этих исследований. В следующих экспериментах не было ссылок на Янга. Никто не использовал его приемов – коридор не ставился на песок, и вообще никто не принимал таких мер предосторожности. Просто по-старому продолжали запускать крыс, не обращая внимания на великие открытия Янга, а на его работы не ссылались, так как он не открыл ничего нового в поведении крыс. На самом деле он открыл все, что надо делать, чтобы узнать что-то о крысах. Но не замечать подобных экспериментов – типично для науки самолетопоклонников.

Другим примером являются эксперименты мистера Райна и других ученых, связанные с экстрасенсорным восприятием. По мере получения критики разных людей – да и своей собственной, – они совершенствовали методики проведения экспериментов, так что полученные эффекты уменьшались, уменьшались и уменьшались, пока мало-помалу не исчезли вовсе. Все парапсихологи ищут такой эксперимент, который можно было бы повторить – провести его снова и получить тот же самый результат – хотя бы статистически. Они изучают миллион крыс – нет, на этот раз людей, – проделывают какие-то вещи и получают определенный статистический эффект. Когда они делают то же самое в другой раз, то не получают этого эффекта. И теперь появляется человек, который говорит, что ожидать эксперимента, который можно было бы повторить, – неуместное требование. И это наука?

В своей речи, посвященной уходу с поста директора Института парапсихологии, м-р Райн говорит о создании нового учебного заведения. Одна из его рекомендаций заключается в том, что надо обучать только таких студентов, которые уже в достаточной степени проявили свои экстрасенсорные способности. И не тратить времени на

ищущих и заинтересованных людей, у которых только иногда что-то получается. Это очень опасная образовательная политика – учить студентов только тому, как получать определенные результаты, вместо того, чтобы учить их ставить эксперименты по всем правилам научной честности.

Я хочу пожелать вам одной удачи – попасть в такое место, где вы сможете свободно исповедовать ту честность, о которой я говорил, и где ни необходимость упрочить свое положение в организации, ни соображения финансовой поддержки – ничто не заставит вас поступиться этой честностью. Да будет у вас эта свобода.

Ивин А. А. Искусство правильно мыслить. С. 15–75.

ОБОСНОВАНИЕ УТВЕРЖДЕНИЙ

Знакомство с принципами и операциями мышления лучше всего начать с понятия *обоснования*.

В самом общем смысле *обосновать* некоторое утверждение – значит указать то убедительное *основание,* в силу которого оно должно быть принято.

В зависимости от того, что именно является таким основанием, можно выделить три типа обоснований.

Во-первых, обоснование посредством обращения к *чувственному опыту*.

Чувственный опыт человека – его ощущения, восприятия и представления – источник знания, связывающий человека с миром. Обоснование путем ссылки на опыт дает уверенность в истинности таких утверждений, как «Этот цветок красный», «Идет дождь» и т. п.

Второй тип обоснования – ссылка на принятые *терминологические соглашения,* или *конвенции*.

Употребление языка всегда предполагает определенные, принимаемые всеми соглашения относительно значений конкретных слов и выражений.

Скажем, для обоснования утверждений «В метре сто сантиметров», «Коррекция – это исправление» и «Ни один диспут не проходит в полном молчании» достаточно сослаться на сложившиеся и зафиксированные словарями соглашения относительно употребления слов «метр», «сантиметр», «коррекция», «диспут» и т. д. Ссылка на такого рода соглашения, составляющие внутренний каркас языка, применима, однако, лишь при обосновании довольно узкого круга утверждений.

Третий тип обоснования утверждений – ссылка на иные, уже признанные *истинными*, или *обоснованными*, *утверждения*. Такое обоснование всегда является некоторым рассуждением. В нем из принятых положений выводится новое, обосновываемое положение. Тем самым проблема принятия последнего сводится к вопросу об основаниях уже признанных положений. К примеру, утверждение «Сейчас на улице холодно» можно обосновать, сославшись на ощущение холода. Но это же утверждение можно попытаться обосновать с помощью рассуждения, что сейчас зима, а зимой на улице всегда холодно.

То, что, скажем, железо ковко и электропроводно, нельзя подтвердить какой-то отдельной демонстрацией, специально поставленным опытом. В опыте будет использоваться не железо вообще, а конкретный железный предмет, и вывод будет касаться именно этого предмета, а не железа как такового. В случае же если мы ссылаемся на то, что железо – металл, а все металлы ковки и электропроводны, это опосредствованное обоснование будет очевидным образом относиться ко всем образцам из железа.

Все общие положения, научные законы и т. п. допускают только опосредствованное обоснование.

Без опосредствованного обоснования нет общего теоретического знания.

Иногда к способам непосредственного обоснования относят также *интуицию,* прямое, так сказать, усмотрение истины, постижение ее без всякого рассуждения.

С интуицией как «непосредственным схватыванием», внезапным озарением и прозрением много спорного и неясного. Интуиция, конечно, существует и играет заметную роль в познании, особенно в процессе научного и тем более художественного творчества и постижения мира. Нередко

человек схватывает мыслью сложную ситуацию, не фиксируя всех ее деталей, да и просто не обращая внимания на них. Так бывает в военных сражениях, при определении диагноза, при установлении невиновности или виновности и т. п.

Однако интуиция как прямое «видение истины» не идет в обход чувств и мышления и не составляет, конечно, особого способа познания. Ее своеобразие в том, что отдельные звенья процесса мышления не фиксируются в сознании, а ясно осознается и запечатлевается только итог мысли – внезапно открывшаяся истина.

Ссылка на интуицию не выглядит твердым основанием для принятия каких-то утверждений. Чтобы убедить в интуитивно схваченной истине как других, так и самого себя, требуется развернутое рассуждение, доказательство.

ДЕДУКЦИЯ

«По одной капле воды… человек, умеющий мыслить логически, может сделать вывод о существовании Атлантического океана или Ниагарского водопада, даже если он не видал ни того, ни другого и никогда о них не слыхал… По ногтям человека, по его рукавам, обуви, сгибу брюк на коленях, по утолщениям кожи на большом и указательном пальцах, по выражению лица и обшлагам рубашки – по таким мелочам нетрудно угадать его профессию. И можно не сомневаться, что все это, вместе взятое, подскажет сведущему наблюдателю верные выводы».

Узнаете эти строки?

Да, это цитата из программной статьи самого знаменитого в мировой литературе сыщика-консультанта Шерлока Холмса. Исходя из мельчайших деталей, он строил логически безупречные цепи рассуждений и раскрывал запутанные преступления, причем зачастую не выходя из

своей квартиры на Бейкер-стрит. Холмс использовал созданный им самим дедуктивный метод, ставящий, как полагал его друг доктор Уотсон, раскрытие преступлений на грань точной науки.

Конечно, Холмс несколько преувеличивал значение дедукции в криминалистике, но его рассуждения о дедуктивном методе сделали свое дело. «Дедукция» из специального и известного только немногим термина превратилась в общеупотребительное и даже модное понятие. Популяризация искусства правильного рассуждения, и прежде всего дедуктивного рассуждения, – не меньшая заслуга Холмса, чем все раскрытые им преступления.

Дедукция – это частный случай умозаключения.

В широком смысле *умозаключение* – логическая операция, в результате которой из одного или нескольких принятых утверждений (посылок) получается новое утверждение – заключение (вывод, следствие).

В зависимости от того, существует ли между посылками и заключением отношение *логического следования,* можно выделить два вида умозаключений.

В *дедуктивном умозаключении* заключение с логической необходимостью вытекает из принятых посылок. Отличительная особенность такого умозаключения в том, что *от истинных посылок оно всегда ведет к истинному заключению.*

В индуктивном умозаключении заключение не вытекает логически из посылок и истинность последних не гарантирует истинности выводимого из них утверждения. Индукция дает из достоверных посылок только *вероятные,* или *правдоподобные,* заключения.

К дедуктивным относятся, к примеру, такие умозаключения:

Если идет дождь, земля становится мокрой; идет дождь; следовательно, земля мокрая.

Все жидкости упруги; вода жидкость; значит, вода упруга.

Если настал день, то светит солнце; солнце не светит; значит, день еще не настал.

Во всех дедуктивных умозаключениях истинность посылок гарантирует истинность заключения.

Иначе обстоит дело с индуктивными умозаключениями.

Примерами индукции могут служить рассуждения:

1 – простое число; 2 – простое число; 3 – простое число; значит, каждое натуральное число простое.

Круг не может пересекаться прямой линией более чем в двух точках; эллипс не может пересекаться прямой более чем в двух точках; следовательно, ни одно из конических сечений не может пересекаться прямой более чем в двух точках.

В первом примере все три посылки истинны, но вывод является ложным. Натуральные числа 1, 2 и 3 действительно простые, т. е. делятся только на себя и на единицу. Однако утверждение, что всякое натуральное число – простое, неверно.

Во втором умозаключении также все посылки истинны, но в отличие от первого истинно и заключение. Однако это заключение не вытекает логически из посылок, просто из других источников мы знаем, что данное заключение истинно. Данные же посылки сообщают заключению только определенное правдоподобие, а не полную достоверность.

Исходя из этого понятен тот огромный интерес, который проявляется к дедуктивным умозаключениям. Они позволяют из уже имеющегося знания получать новые

истины, и притом с помощью чистого рассуждения, без обращения к опыту, интуиции и т. п. Дедукция дает стопроцентную гарантию успеха, а не просто обеспечивает ту или иную – быть может, и высокую – вероятность истинного заключения. Отправляясь от истинных посылок и рассуждая правильно, мы обязательно во всех случаях получим достоверное знание.

ОБЫЧНЫЕ ДЕДУКЦИИ

Итак, дедукция – это выведение заключений, столь же достоверных, как и принятые посылки.

В обычных рассуждениях дедукция только в редких случаях предстает в полной и развернутой форме. Чаще всего мы указываем не все используемые посылки, а лишь некоторые. Общие утверждения, о которых можно предполагать, что они хорошо известны, как правило, опускаются. Не всегда явно формулируются и заключения, вытекающие из принятых посылок. Сама логическая связь, существующая между исходными и выводимыми утверждениями, лишь иногда отмечается словами, подобными «следовательно» и «значит».

Нередко дедукция является настолько сокращенной, что о ней можно только догадываться. Восстановить ее в полной форме, с указанием всех необходимых элементов и их связей бывает нелегко.

«Благодаря давней привычке, – заметил как-то Шерлок Холмс, – цепь умозаключений возникает у меня так быстро, что я пришел к выводу, даже не замечая промежуточных посылок. Однако они были, эти посылки».

Проводить дедуктивное рассуждение, ничего не опуская и не сокращая, довольно обременительно. Человек, указывающий все предпосылки своих заключений, создает

впечатление мелкого педанта. И вместе с тем всякий раз, когда возникает сомнение в обоснованности сделанного вывода, следует возвращаться к самому началу рассуждения и воспроизводить его в возможно более полной форме. Без этого трудно или даже просто невозможно обнаружить допущенную ошибку.

Интересно отметить, что сам Шерлок Холмс никогда не следовал этому полезному правилу. Вот как он реконструировал, например, рассуждение, приведшее его к выводу, что прибывший посыльный – отставной флотский сержант: «Мне было легче понять, чем объяснить, как я догадался. Представьте себе, что вам нужно доказать, что дважды два – четыре, – трудновато, не правда ли, хотя вы в этом твердо уверены. Даже через улицу я заметил на его руке татуировку – большой синий якорь. Тут же запахло морем. Выправка у него военная, и он носит брюки военного образца. Стало быть, перед нами флотский. Держится он с достоинством, пожалуй, даже начальственно. Вы должны были бы заметить, как высоко он держит голову и как помахивает своей палкой, а с виду он степенный мужчина средних лет – вот и все приметы, по которым я узнал, что он был сержантом».

Никакой четкой, последовательной дедукции здесь нет. Опущены, в частности, все общие утверждения («Всякий человек с вытатуированным якорем, имеющий военную выправку и носящий брюки военного образца, является моряком» и т. п.).

Многие литературные критики полагают, что Шерлок Холмс был «списан» А. Конан Дойлом с профессора медицины Эдинбургского университета Джозефа Белла. Последний был известен как талантливый ученый, обладавший редкой наблюдательностью и отлично

владевший методом дедукции. Среди его студентов был и будущий создатель образа знаменитого детектива.

Однажды, рассказывает в своей автобиографии Конан Дойл, в клинику пришел больной, и Белл спросил его:

– Вы служили в армии?

– Так точно! – став по стойке смирно, ответил пациент.

– В горно-стрелковом полку?

– Так точно, господин доктор!

– Недавно ушли в отставку?

– Так точно!

– Были сержантом?

– Так точно! – лихо ответил больной.

– Стояли на Барбадосе?

– Так точно, господин доктор!

Студенты, присутствовавшие при этом диалоге, изумленно смотрели на профессора. Белл объяснил, насколько просты и логичны его выводы.

Этот человек, проявив при входе в кабинет вежливость и учтивость, все же не снял шляпу. Сказалась армейская привычка. Если бы пациент был в отставке длительное время, то давно усвоил бы гражданские манеры. В осанке властность, по национальности он явно шотландец, а это говорит за то, что он был командиром. Что касается пребывания на Барбадосе, то пришедший болеет элефантизмом (слоновостью) – такое заболевание распространено среди жителей тех мест.

Здесь опять-таки дедуктивное рассуждение чрезвычайно сокращено. И снова опущены все общие утверждения, без которых дедукция была бы невозможной.

Шерлок Холмс сделался очень популярным персонажем. Появились даже анекдоты о нем и о его создателе. К примеру: в Риме Конан Дойл берет извозчика, и тот говорит: «А, господин Дойл, приветствую вас после

вашего путешествия в Константинополь и в Милан!» – «Как мог ты узнать, откуда я приехал?» – удивился шерлок-холмсовской проницательности Конан Дойл. «По наклейкам на вашем чемодане», – хитро улыбнулся кучер.

Это еще одна дедукция, очень сокращенная и простая.

СХЕМЫ ДЕДУКТИВНЫХ РАССУЖДЕНИЙ

Вот два примера дедуктивных выводов из рассказа русского юмориста начала века В. Билибина.

«Если бы на свете не существовало солнца, то пришлось бы постоянно жечь свечи и керосин.

Если бы пришлось постоянно жечь свечи и керосин, то чиновникам не хватало бы их жалованья и они брали бы взятки.

Следовательно, чиновники не берут взяток потому, что на свете существует солнце».

«Если бы быки и куры ходили зажаренными, то не нужно было бы разводить плиты и, значит, было бы меньше пожаров.

Если бы было меньше пожаров, страховые общества не повысили бы так жестоко страховую премию.

Следовательно, страховые общества повысили так жестоко страховую премию потому, что быки и куры не ходят зажаренными».

Эти рассуждения пародировали бытовавшие когда-то наивные объяснения того, почему чиновники берут взятки, а страховые компании завышают страховой процент.

Понятно, что оба эти рассуждения логически несостоятельны. Их заключения не вытекают из принятых посылок. Поэтому, даже если бы посылки являлись истинными, это не означало бы, что и заключения достоверны.

В *правильном дедуктивном рассуждении* заключение вытекает из посылок с *логической необходимостью. Общая схема* такого умозаключения представляет собой логический закон.

Правильными являются все рассуждения, идущие, например, по такой схеме: «Если *A*, то *B*; *A*; следовательно, *B*», где *A* и *B* – какие-то высказывания. Правильно, в частности, умозаключение: «Если у человека повышенная температура (*A*), то он болен (*B*); у человека повышенная температура (*A*); значит, он болен (*B*)». Какие бы конкретные истинные высказывания мы ни подставляли в данную схему вместо *A* и *B*, заключение всегда будет истинным.

Правильными являются и все рассуждения, следующие такой популярной схеме: «Если *A*, то *B*; неверно *B*; значит, неверно *A*». Например: «Если лед нагревается, он тает; лед не тает; значит, он не нагревается».

Схем правильных дедуктивных умозаключений, т. е. логических законов, в принципе *бесконечное число*. Их описание и систематизация – основная задача логического анализа наших рассуждений. Многие из этих схем мы применяем интуитивно, не отдавая себе отчета в том, что в каждом правильно проведенном умозаключении присутствует тот или иной логический закон.

Неправильные умозаключения, т. е. умозаключения, не опирающиеся на законы логики, способны от истинных посылок вести к ложному заключению.

Скажем, схема «Если *A*, то *B*; *B*; следовательно, *A*» не является логическим законом. Это означает, что имеются такие конкретные высказывания, подставив которые вместо *A* и *B*, мы получим из верных посылок ложное заключение. В практических ситуациях эту особенность схем неправильных

дедукций можно использовать для наглядного показа логической некорректности рассуждений.

Подставим, например, в последнюю схему вместо *A* высказывание «Тигры – травоядные животные», а вместо *B* – высказывание «Тигры не способны жить в Арктике». Условное высказывание «Если тигры травоядные, то они не могут жить в Арктике» истинно, поскольку травоядным в Арктике нечем питаться. Истинно и высказывание «Тигры не способны жить в Арктике», так как там для них слишком холодно. Из этих двух истинных высказываний вытекает явно ложное заключение: «Тигры – травоядные животные». Возможность перехода от истинных посылок к ошибочному следствию говорит о том, что схема, по которой идет рассуждение, несостоятельна.

Не является логическим законом и схема «Если *A*, то *B*; неверно *A*; следовательно, неверно *B*».

Подставим вместо *A* и *B* конкретные высказывания: «Железо – хороший проводник электричества» и «Железо широко применяется в промышленности». Если бы железо было хорошим проводником, то оно широко применялось бы в промышленности, в частности в электротехнике. Но оно, как известно, посредственный проводник. Из этих двух высказываний по рассматриваемой схеме должно было бы вытекать заключение: «Неверно, что железо широко применяется в промышленности». Это заключение очевидно ложно: железо находит широкое применение в промышленности и даже в электротехнике, хотя и является не особенно хорошим проводником. Возможность получения по данной схеме из истинных суждений ложного означает, что она не является логическим законом и опирающееся на нее рассуждение неправильно.

Возвращаясь к двум рассуждениям о чиновниках, не берущих взятки, потому что светит солнце, и о страховых компаниях, завышающих страховой процент из-за того, что быки и куры не ходят зажаренными, можно отметить, что в основе этих рассуждений лежит эта же неправильная схема.

Следует подчеркнуть, что логические законы, лежащие в основе правильных рассуждений, объективны и не зависят от сознания и воли человека. Они не являются результатом соглашения (конвенции) или порождением «абсолютной идеи», «мирового духа», «сознания» и т. п. С точки зрения материалистической диалектики власть законов логики над человеком, их обязательная для правильного мышления сила обусловлена тем, что они представляют отображение в человеческом мозгу закономерностей объективного мира, многовекового опыта его познания и преобразования человеком. <…>

ЗАКОН КАК ОСНОВА ОБЪЯСНЕНИЯ И ПРЕДСКАЗАНИЯ

Из обычной жизни и из опыта научных наблюдений мы хорошо знаем, что в мире существует определенная *повторяемость* состояний и событий. За днем всегда следует ночь. Времена года повторяются в том же самом порядке. Лед всегда ощущается как холодный, а пламя неизменно жжет. Предметы падают, когда мы их роняем, и т. д.

Наиболее важные *регулярные, постоянные* связи, исследованные наукой, называются *законами*.

Закон свободного падения тел, открытый Г. Галилеем, закон всемирного тяготения И. Ньютона, закон Бойля – Мариотта и т. п. – это утверждения о повторяемости физических явлений и их характеристик. Законы биологии говорят о повторяемости в мире живых существ, законы

мышления – о повторяющихся «схемах», или «фигурах», наших рассуждений и т. д.

Закон устанавливает *устойчивое* и *повторяющееся* отношение между явлениями, их *необходимую* и *существенную* связь.

Теоретическая и практическая ценность законов очевидна. Они лежат в основе научных *объяснений* и *предсказаний* и тем самым составляют фундамент понимания окружающего мира и его целенаправленного преобразования.

В самом широком смысле объяснение представляет собой рассуждение, посылки которого содержат информацию, необходимую для выведения из нее рассматриваемого факта или события.

Наиболее развитая форма научного объяснения – объяснение на основе теоретических законов. Так, чтобы объяснить, почему тело за первую секунду своего падения проходит путь, допустим, в 4,9 метра, мы ссылаемся на закон Галилея, который в самой общей форме описывает поведение разнообразных тел, движущихся под воздействием силы тяжести. Если требуется объяснить сам этот закон, мы обращаемся к более общей теории гравитации Ньютона. Получив из нее закон Галилея в качестве логического следствия, мы тем самым объясняем его.

Аналогично обстоит дело и с нашими повседневными объяснениями. Они также опираются на законы. Однако последние, как правило, настолько просты и очевидны, что мы не формулируем их явно, а иногда даже не замечаем их.

Например, мы спрашиваем ребенка, почему он плачет. Ребенок объясняет: «Я упал и сильно ударился». Почему этот ответ кажется нам достаточным объяснением? Потому что мы знаем, что сильный удар вызывает боль, и знаем, что, когда ребенку больно, он плачет. Это определенный психологи-

ческий закон. Подобные законы просты и известны всем, поэтому нет нужды выражать их явно. Тем не менее это законы, и объяснение плача ребенка осуществляется через эти элементарные законы.

Представим себе, что мы встретились с плачущим марсианским ребенком. Мы не знаем, бывает ли марсианским детям больно от удара или нет и плачут ли они от боли. Понятно, что в данном случае объяснение типа «Я упал и ударился» вряд ли удовлетворит нас. Нам не известны те общие законы, на которые оно опирается. А без них нет и объяснения.

Объяснить что-то – значит подвести под уже известный закон.

Глубина объяснения определяется глубиной той теории, к которой относится закон.

Законы обеспечивают не только объяснение наблюдаемых фактов, но служат также средством *предсказания,* или *предвидения,* новых еще не наблюдавшихся фактов.

Предсказание факта – это, как и объяснение, выведение его из уже известного закона. Схема рассуждения здесь та же самая: из общего утверждения (закона) выводится утверждение о факте. Предсказание, в сущности, отличается от объяснения только тем, что речь идет о неизвестном еще факте.

Скажем, нам известен закон теплового расширения и мы знаем также, что металлический стержень был нагрет. Это дает основу для предсказания, что, если теперь измерить стержень, он окажется длиннее, чем прежде.

ПРОБЛЕМА ИНДУКЦИИ

Всякий закон является *общим, универсальным* утверждением. Он говорит о том, что в любом частном случае, в любом месте и в любое время если одна ситуация имеет место, то другая ситуация также имеет место.

«Если металл нагревается, он расширяется» – это физический закон. Для него нет исключений, связанных со своеобразием места и времени. Где бы ни нагревался металлический предмет и в какое бы время это ни происходило, он обязательно увеличится в своих размерах.

«Если тело имеет массу, оно испытывает гравитационные воздействия» – это тоже физический закон, действующий всегда и всюду. Исключения не составляет, как известно, даже свет. Для всемирного тяготения нет преград, загородиться от гравитационных сил с помощью экрана из особых веществ невозможно.

Данные два закона относятся к так называемым *однозначным,* или *динамическим,* законам. Сделанные на их основе предсказания носят точно определенный, однозначный характер.

Существуют также *статистические* законы, предсказания которых только вероятностны. Таковы, к примеру, законы, говорящие о поведении большого числа молекул в газе, людей в социальных коллективах и т. п. Однако и статистические законы являются универсальными, т. е. не зависящими от места и времени своего приложения.

Всякий закон опирается только на конечное число наблюдений. Но распространяется он на бесконечное число возможных случаев. Отправляясь от отдельных и ограниченных по числу фактов, ученый устанавливает всеобщий, универсальный принцип.

Как осуществляется этот переход от непосредственно наблюдаемых фактов к всеобщему закону?

Как перейти от знания об ограниченном круге исследованных объектов к новому и более широкому знанию обо всех объектах, включая и те, которых мы не видели и,

возможно, вообще никогда не увидим? В чем гарантия того, что сделанное обобщение окажется верным?

Это и есть то, что по традиции называют *проблемой индукции*, проблемой перехода от знания об отдельных предметах исследуемого класса к знанию обо всех предметах этого класса.

ПРАВДОПОДОБНОЕ РАССУЖДЕНИЕ

Индуктивное умозаключение от истинных посылок ведет к заключению, являющемуся не истинным, а только *вероятным*. Индукция не дает полной гарантии получения новой истины из уже имеющихся. Максимум, о котором можно говорить, – это определенная степень вероятности выводимого утверждения. Заключение индуктивного умозаключения всегда только *предположительно*.

Подчеркивая это различие между дедукцией и индукцией, иногда говорят, что дедукция представляет собой *демонстративное, доказательное* умозаключение, в то время как индукция – это *недемонстративное, правдоподобное* рассуждение. Получаемые индуктивно предположения всегда нуждаются в дальнейшем исследовании и обосновании.

Характерным примером индуктивных рассуждений являются *обобщения*, т. е. переходы от единичного или частного знания к общему.

«Все живые многоклеточные организмы смертны», «Все тела, имеющие массу, притягиваются друг к другу», «Все преступления совершаются теми, кому это выгодно» – это типичные индуктивные обобщения. Убедившись в смертности определенного числа многоклеточных существ, человек распространил это знание на все такие существа, в том числе и на те из них, которые еще не появились на свет. Подытожив наблюдения над некоторыми телами, обладающими массой,

Ньютон высказал мысль о всеобщем законе притяжения, относящемся и к тем объектам, которые никогда и никем не наблюдались. Юристы, анализировавшие разного рода преступления, постепенно пришли к убеждению, что преступления совершаются, как правило, теми, кому это в том или ином отношении выгодно.

Рассуждения, ведущие от знания о части предметов к общему знанию обо всех предметах, – это типичные индукции, поскольку всегда остается вероятность того, что обобщение окажется поспешным и необоснованным.

Нельзя, однако, отождествлять всякое индуктивное рассуждение с переходом от частного к общему.

К индуктивным умозаключениям относятся не только обобщения, но и *уподобления,* или *аналогии,* заключения о причинах явлений и др. Об этих типах индукции речь будет идти дальше. Сейчас же достаточно подчеркнуть, что индукция – это не только переход от частного к общему, но и вообще любой переход от достоверного знания к проблематичному.

Почти все общие утверждения, включая, конечно, и научные законы, являются результатами индуктивного обобщения. В этом смысле индукция – основа всего нашего знания. Сама по себе она не гарантирует его истинности, но порождает предположения, связывает их с опытом и тем самым сообщает им определенное правдоподобие, более или менее высокую степень вероятности. Опыт – источник и фундамент человеческого знания. Индукция, отправляющаяся от того, что постигается в опыте, является необходимым средством его обобщения и систематизации.

НЕПОЛНАЯ ИНДУКЦИЯ

Индуктивное умозаключение, результатом которого является общий вывод о всем классе предметов на основании знания лишь некоторых предметов данного класса, принято называть *неполной индукцией*.

Например, из того, что инертные газы гелий, неон и аргон имеют валентность, равную нулю, можно сделать общий вывод, что все инертные газы имеют эту же валентность. Это – неполная индукция, поскольку знание о трех инертных газах распространяется на все такие газы, включая не рассматривавшиеся специально криптон и ксенон.

Общая схема неполной индукции:

Объект A_1 имеет признак B.

Объект A_2 имеет признак B.

Объект A_3 имеет признак B.

Следовательно, все A имеют признак B.

Здесь от утверждений об отдельных объектах A_1, A_2 и A_3 осуществляется переход к утверждению обо всех объектах рассматриваемого класса.

Неполная индукция очевидным образом расширяет наше знание, так как ее заключение содержит информацию большую, чем та, которая содержалась в посылках.

Еще пример неполной индукции:

«Аргентина – республика, Эквадор – республика, Венесуэла – республика; значит, каждое латиноамериканское государство – республика».

Это обобщение является верным, однако, обосновано оно, конечно, слабо. Перечислив несколько представителей данного класса, но отнюдь не всех, мы распространяем замеченное у каждого из них свойство на весь класс. Риск здесь очевиден: в пределах класса могли встретиться исключения.

Допустим, что мы рассуждаем не о политическом устройстве латиноамериканских государств, а о господствующем в них языке: «В Аргентине говорят на испанском языке, в Эквадоре и Венесуэле говорят на этом же языке; следовательно, в каждом латиноамериканском государстве говорят на испанском языке». Это рассуждение аналогично предыдущему. Но заключение ошибочное: португальская Бразилия представляет собой исключение.

Такого рода индуктивные умозаключения называют иногда «популярной индукцией» или «неполной индукцией через простое перечисление, в котором не встречается противоречащих случаев». Вывод здесь базируется на наблюдении только отдельных предметов рассматриваемого класса. Поэтому вполне может случиться, что противоречащий пример лишь случайно не попался на глаза.

Иногда перечисление является достаточно обширным и тем не менее опирающееся на него обобщение оказывается ошибочным.

«Алюминий – твердое тело; железо, медь, цинк, серебро, платина, золото, никель, барий, калий, свинец – также твердые тела; следовательно, все металлы – твердые тела». Но этот вывод ложен, поскольку ртуть – единственный из всех металлов – жидкость.

Средневековый армянский логик Давид Анахт приводил такой пример. У лошади, обезьяны, волка и многих других животных при еде двигается лишь нижняя челюсть. Напрашивается как будто общий вывод: у всех животных при еде двигается нижняя челюсть. Но, оказывается, крокодил жует верхней челюстью.

Много интересных примеров поспешных обобщений, встречавшихся в истории науки, приводит в своих работах русский ученый В. И. Вернадский.

До XVII в., пока в науку не вошло окончательно понятие «сила», «некоторые *формы* предметов и по аналогии некоторые *формы* путей, описываемых предметами, считались, по существу, способными производить бесконечное движение. В самом деле, представим себе форму идеально правильного шара, положим этот шар на плоскость; теоретически он не может удержаться неподвижно и все время будет в движении. Это считалось следствием идеально круглой формы шара. Ибо чем ближе форма фигуры к шаровой, тем точнее будет выражение, что такой материальный шар любых размеров будет держаться на идеальной зеркальной плоскости на одном атоме, то есть будет больше способен к движению, менее устойчив. Идеально круглая форма, полагали тогда, по своей сущности способна поддерживать раз сообщенное движение. Этим путем объяснялось чрезвычайно быстрое вращение небесных сфер, эппициклов. Эти движения были единожды сообщены им божеством и затем продолжались века как свойство идеально шаровой формы». Оценивая такого рода рассуждения, Вернадский пишет: «Как далеки эти научные воззрения от современных, а между тем, по существу, это строго индуктивные построения, основанные на научном наблюдении. И даже в настоящее время в среде ученых исследователей видим попытки возрождения, по существу, аналогичных воззрений».

Поспешное обобщение, т. е. обобщение без достаточных на то оснований, – обычная ошибка в индуктивных рассуждениях.

Индуктивные обобщения требуют определенной осмотрительности и осторожности. Многое здесь зависит от *числа изученных случаев.* Чем обширнее база индукции, тем более правдоподобным является индуктивное заключение.

Важное значение имеет также разнообразие, разнотипность этих случаев.

Но наиболее существенным является анализ характера связей предметов и их признаков, доказательство неслучайности наблюдаемой регулярности, ее укорененности в сущности исследуемых объектов. Выявление причин, порождающих эту регулярность, позволяет дополнить чистую индукцию фрагментами дедуктивного рассуждения и тем самым усилить и укрепить ее.

Общие утверждения, и в частности научные законы, полученные индуктивным способом, не являются еще полноправными истинами. Им предстоит пройти длинный и сложный путь, пока из вероятностных предположений они превратятся в составные элементы научного знания. Некоторые детали этого пути рассматриваются далее на примере превращения гипотез в научные теории.

ПОЛНАЯ ИНДУКЦИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИНДУКЦИЯ

Наряду с неполной индукцией принято выделять в качестве особого вида индуктивного умозаключения *полную индукцию*.

Ее схема: «A_1 есть B, A_2 есть B, …, A_n есть B; никаких A, кроме $A,\ldots,A_n$, нет; следовательно, каждое A есть B».

Здесь в посылках о каждом из предметов, входящих в рассматриваемое множество, утверждается, что он имеет определенное свойство. В заключении говорится, что все предметы данного множества обладают этим свойством.

К примеру, учитель, читая список учеников какого-то класса, убеждается, что названные им ученики присутствуют. На этом основании учитель делает вывод, что присутствуют все ученики.

В полной индукции заключение *необходимо,* а не с некоторой вероятностью вытекает из посылок. Эта индукция является, таким образом, разновидностью дедуктивного умозаключения.

К дедукции относится и так называемая *математическая индукция,* широко используемая в математике.

Умозаключение математической индукции слагается из двух посылок и заключения. Первая из посылок говорит, что свойство присуще первому предмету рассматриваемого ряда. Вторая посылка утверждает, что если это свойство есть у произвольного предмета этого ряда, то оно есть и у непосредственно следующего за ним предмета. Заключение утверждает, что свойство присуще каждому предмету ряда.

Общая схема математической индукции *(A* – свойство): «$A(1)$; если $A(k)$, то $A(k+1)$; следовательно, для всякого натурального числа n справедливо $A(n)$».

Таким образом, ни полная, ни математическая индукция не являются индуктивным умозаключением в собственном смысле этого слова. И та, и другая дают истинные заключения из истинных посылок и только внешне напоминают индуктивные рассуждения.

ПРИЧИНА И СЛЕДСТВИЕ

Понятие *причины* – одно из тех понятий, без ссылки на которое обходится только редкое из наших рассуждений. И это не случайно. Знание явлений – это прежде всего знание причин их возникновения и развития.

Причинность представляет собой определенную внутреннюю связь между явлениями, связь, при которой всякий раз за одним следует другое. *Причина* – это явление,

вызывающее к жизни другое явление. Результат действия причины – *следствие*.

В старину между стенами здания, подлежащего сносу, помещали прочный железный стержень и разводили под ним костер. От нагревания стержень удлинялся, распирал стены, и они разваливались. Нагревание здесь причина, расширение стержня – ее следствие.

Камень попадает в окно, и оно разлетается на осколки. Молния ударяет в дерево, оно раскалывается и обугливается. Извергается вулкан, пепел засыпает многометровым слоем город, и он гибнет. Начинается дождь, и на земле через некоторое время образуются лужи. Во всех этих случаях одно явление – причина – вызывает, порождает, производит и т. п. другое явление – свое следствие.

Что характерно для причинной связи? Чем она отличается от других возможных связей явлений?

Прежде всего, причина всегда *предшествует во времени* следствию. Сначала железо нагревается, а затем начинает расширяться. Окно раскалывается не до удара камня, а после него и т. д.

Основываясь на этом очевидном свойстве причинности, мы всегда ищем причину интересующего нас явления только среди тех явлений, которые предшествовали ему, и не обращаем внимания на все, что случилось позднее.

Далее, причинная связь *необходима:* всякий раз, когда есть причина, неизбежно наступает и следствие.

Вода нагревается до 100°С, закипает и превращается в пар. Можно миллион раз нагревать воду до кипения, и она всегда будет переходить в пар. И если бы при миллион первом нагревании этого вдруг не произошло, мы должны были бы сказать, что между нагреванием воды и превращением ее в пар нет причинной связи.

Названных характеристик причинности недостаточно, однако, для отличения ее от связей других типов.

Наступлению каждого явления предшествует бесконечное множество других явлений. Но только одно из них может быть его причиной. Постоянное следование одного явления за другим не говорит еще, что предшествующее из них – причина последующего. Ночь всегда предшествует утру, а за утром неизменно наступает день. Но ночь – не причина утра, а утро – не причина дня. Как предостерегает старая латинская пословица: «После этого не значит вследствие этого».

Причина всегда предшествует следствию, и следствие обязательно наступает в случае реализации причины. Но причина, сверх того, *порождает* и *обусловливает* следствие. В этом – еще одна особенность причинной связи, отграничивающая ее от всех других случаев постоянного следования одного явления за другим. Без этой особенности причинную связь невозможно охарактеризовать однозначно. Без нее нельзя, в частности, отличить причину от повода, т. е. событие, которое непосредственно предшествует другому событию, делает возможным его появление, но не порождает и не определяет его.

Допустим, что на нитке подвешен камень. Нитка разрезается, камень падает. Что является причиной падения? Ясно, что разрезание нитки – только повод, а причина – земное притяжение. Если бы камень лежал на полу или находился в состоянии невесомости, он, лишенный подвески, все-таки не упал бы.

Для причинной связи также характерно, что с *изменением интенсивности* или *силы действия* причины соответствующим образом *меняется и интенсивность* следствия.

Причинная связь носит *объективный* характер. Причины и следствия существуют в окружающем мире и не зависят от размышлений человека о них.

Причинность, наконец, *всеобща.* Нет и не может быть беспричинных явлений. Все в мире возникает только в результате действия определенных причин. Это – *закон причинности,* требующий естественного объяснения всех явлений природы и общества и исключающий их объяснение с помощью каких-то сверхъестественных сил.

Эти особенности причинности обусловливают одну специфическую ее черту: наличие причинной связи нельзя установить на основе исследования только одного конкретного случая.

Чтобы определить, какое из двух деревьев выше, мы сравниваем их и приходим к соответствующему заключению. Решая вопрос, является ли один человек братом другого, мы изучаем их прошлое и пытаемся определить, имели ли они общих родителей. И в первом, и во втором случае нет необходимости рассматривать какие-то другие деревья и других людей.

Иначе обстоит дело с причинными связями.

Предположим, мы видим, как камень летит к окну, ударяется об оконное стекло и стекло раскалывается. Мы говорим, что удар камня был причиной разрушения стекла. Мы видели, как камень ударил в стекло, а стекло, как мы хорошо знаем, всегда раскалывается от сильного удара. Увидев летящий в окно камень, мы можем заранее предсказать, что произойдет.

Но представим, что перед окном была прозрачная пластмассовая поверхность и в тот момент, когда камень ударился о пластмассу, кто-то в доме, чтобы обмануть нас, незаметно разбил окно. В обычных ситуациях мы исключаем

такой обман и уверенно говорим, что видели своими глазами причину разрушения стекла.

Этот упрощенный пример говорит о том, что о причинной связи нельзя судить только на основе наблюдения, относящегося к одному случаю. Необходимо сопоставление нескольких сходных случаев, а также знание того, что обычно происходит в соответствующих ситуациях.

ЕДИНСТВЕННОЕ СХОДСТВО

Мы привыкли думать, что выявить причинные связи можно путем наблюдения. Однако это не так. Причину можно установить только на основе рассуждения. В логике разработаны определенные методы проведения таких рассуждений, получившие название *принципов* или *канонов индукции* (от латинского слова *canon,* имеющего значения: тростниковый прут, затем прут вообще, далее – линия, обозначающая направление, наконец, – требование, правило).

Первая формулировка этих принципов была дана еще в начале XVII в. английским философом Ф. Бэконом. Систематически они были исследованы в прошлом веке английским философом и логиком Д. С. Миллем. Отсюда их наименование – «каноны (принципы) Бэкона – Милля».

Все принципы индукции опираются на рассмотренные выше свойства причинной связи. Каждое явление имеет причину, именно поэтому поиски ее не лишены смысла. Причиной может быть только явление, имевшее место до наступления того явления, причину которого мы ищем. После явления, считаемого причиной, всегда должно наступать ее следствие. При отсутствии причины следствие не должно иметь места. Изменения в причине влекут за собой изменения в следствии.

Всего принципов, помогающих выявлять причинные связи, пять. (Любопытно, что Милль, перечисливший их, случайно написал в заголовке соответствующей главы: «О четырех методах опытного исследования».)

Принцип единственного сходства: если какое-то обстоятельство постоянно предшествует наступлению исследуемого явления, в то время как иные обстоятельства изменяются, то это обстоятельство есть причина данного явления.

Допустим, мы ищем причину плохого роста посеянных растений (обозначим это явление буквой *X*).

Прежде всего составим перечень всех тех явлений, которые способны, как мы предполагаем, оказаться такой причиной. Наше подозрение может, в частности, упасть на вредителей растений (обозначим этот фактор буквой *A*), высокую температуру (*B*), недостаточную влажность (*C*), неблагоприятный химический состав почвы (*D*), плохую ее вспашку (*E*).

Теперь исследуем несколько полей, на которых посеяны эти растения, и составим сводную таблицу:

1. В условиях *A*, *B*, *C*, *D*, но не *E* имеет место *X*.
2. В условиях *A*, *B*, *C*, *E*, но не *D* имеет место *X*.
3. В условиях *A*, *C*, *D*, *E*, но не *B* имеет место *X*.
4. В условиях *B*, *C*, *D*, *E*, но не *A* имеет место *X*.

Значит, *C*, по всей вероятности, причина *X*.

Таблица показывает, что всем случаям наличия *X* сопутствует только фактор *C*. Иными словами, все ситуации, в которых посеянные растения развиваются плохо, сходны в одном-единственном свойстве: недостаточной влажности. Из этого мы заключаем, что причиной плохого роста растений является, судя по всему, именно недостаточная влажность.

Еще пример применения принципа сходства.

«Врачи, – пишет польский философ и логик Т. Котарбиньский, – наблюдая различнейшие случаи заболевания сыпным тифом, пришли наконец к мысли, что общим во всех случаях был только предварительный укус паразитирующего на человеке зараженного насекомого, в большинстве случаев платяной вши. Чтобы прийти к такому утверждению, необходимо было прежде всего установить это совпадение во всех наблюдаемых случаях и, кроме того, установить единственность этого совпадения при помощи исключения предположений, касающихся – как оказывается – непостоянных совпадений. Так, ни холод, хотя он имел место во многих случаях заболеваний, ни общение с другими больными или вдыхание выдыхаемого ими воздуха и т. п. не оказались постоянными факторами заболевания, ибо в больнице, где от названных насекомых освободились полностью, не было установлено заболеваний сыпным тифом, разве что кто-либо приносил с собой зачатки этой болезни в скрытом состоянии».

Здесь явление, причина которого устанавливается, заболевание сыпным тифом. Предшествующие обстоятельства, могущие оказаться такой причиной: холод, общение с другими больными, укус зараженным насекомым и др. Из всех этих обстоятельств в каждой из исследуемых ситуаций повторяется только одно – укус насекомого.

ЕДИНСТВЕННОЕ РАЗЛИЧИЕ

Самым надежным и важным из всех принципов индукции является, пожалуй, *принцип единственного различия.* Он говорит, если какое-то обстоятельство имеет место, когда наступает исследуемое явление, и отсутствует, когда этого явления нет, а все другое остается неизменным, то данное обстоятельство и представляет собой причину явления.

Общая схема этого принципа:

1. В условиях *A*, *B*, *C*, *D* имеет место *X*.
2. В условиях *A*, *B*, *D*, но не *C* отсутствует *X*.

Вероятно, что *C* есть причина *X*.

Например, в нормальном воздухе свеча горит, а в воздухе, лишенном кислорода, гаснет. Из этого можно заключить, что кислород – необходимая предпосылка горения.

На поле, которое было хорошо удобрено, хлеба буйно пошли в рост. На соседнем, в общем, точно таком же поле удобрения не применялись и посевы развивались плохо. Единственное различие этих полей – удобрения – и является, скорее всего, причиной хорошего роста растений.

Сад, где выращивались груши сорта «вильямсия», буйно цвел, но не плодоносил, хотя климатические условия были благоприятными. Возник вопрос, отчего это. Было замечено, что плодоносили только те деревья «вильямсии», возле которых росли случайно сохранившиеся экземпляры груш сорта «фаворитка». Из этого был сделан вывод, что соседство с «фавориткой» находится в причинной связи с плодоношением «вильямсии». Этот вывод оказался правильным. Последующее изучение выявило тот факт, что груши сорта «вильямсия» плодоносят только после опыления их цветов пыльцой другого сорта.

СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ

Принципы единственного сходства и единственного различия, примененные вместе, дают *объединенный принцип сходства и различия:* если два или большее число случаев, когда наступает данное явление, сходны только в одном обстоятельстве, в то время как два или больше случаев, когда этого явления нет, различаются только тем, что данное

обстоятельство отсутствует, то это обстоятельство и есть причина рассматриваемого явления.

СОПУТСТВУЮЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Если с изменением одного явления изменяется и другое, а остальные обстоятельства остаются неизменными, то между данными явлениями существует причинная связь. Это *принцип сопутствующих изменений*.

Схематично:

1. В условиях *A*, *B*, *C* имеет место *X*.

2. В условиях изменения *A* и постоянства *B* и *C* имеет место изменение *X*.

Следовательно, *A* есть, вероятно, причина *X*.

Например, если по мере увеличения температуры газа увеличивается его объем, то можно сделать вывод, что между температурой и объемом имеется причинная связь.

Этот принцип широко применим в тех случаях, когда какую-то характеристику нельзя, подобно температуре, полностью исключить, но можно в определенных пределах модифицировать.

Современник Ф. Бэкона физик Г. Галилей писал: «…Если верно, что у одного явления имеется лишь одна первичная причина и между причиной и явлением существует постоянная и устойчивая связь, то всякий раз, когда наблюдается постоянное и устойчивое изменение в явлении, должно быть постоянное и устойчивое изменение в причине».

Это, по сути дела, ясная формулировка принципа сопутствующих изменений.

ОСТАЮЩАЯСЯ ЧАСТЬ ПРИЧИНЫ

Если сложная причина производит сложный результат и известно, что часть причины вызывает определенную часть

этого результата, то остающаяся часть причины производит остальную часть результата. Это *принцип остатков.*

Схематично:

Сложное явление AB есть причина сложного следствия XY. B есть причина Y.

Значит, A – вероятная причина X.

К примеру, взвешивалась доза вещества определенного химического состава. Оказалось, что общий вес этой дозы несколько больше, чем вес составных частей вещества, предполагаемых формулой. Избыток веса говорил о наличии примеси. Так был открыт химический элемент литий.

НАДЕЖНОСТЬ ИНДУКЦИИ

Ахиллесова пята всех индуктивных умозаключений – их ненадежность. Они расширяют круг известного и дают новое знание. Но знание не достоверное, а только вероятное, проблематичное.

Это относится и к рассмотренным принципам, или канонам, индукции. Если даже их посылки истинны, выводимое заключение является только *предположением*, *гипотезой* и нуждается в дальнейшем обосновании. Именно поэтому в схемах принципов употребляются обороты типа «A есть, вероятно, причина X», а не категорическое «A является причиной X».

Принципы индукции предполагают, что при установлении причинных связей изучаемое явление и те обстоятельства, в которых оно возникает, можно рассматривать как отдельные, изолированные события. Допустимо говорить о связи отдельной причины и отдельного обстоятельства, отвлекаться от взаимного влияния обстоятельств друг на друга, от обратного воздействия следствия на причину.

Между тем, как это часто бывает, явление может быть порождено не одной какой-либо причиной, а действием ряда причин, находящихся между собой в сложных отношениях.

Каждому явлению предшествует бесконечное число других явлений. Выделяя среди них те, которые могли бы оказаться причиной интересующего нас явления, мы можем упустить что-то существенное. В таком случае дальнейшие рассуждения о причине этого явления заведут нас в тупик.

Более или менее успешный результат получается только в тех случаях, если мы имеем дело с изолированными системами, элементы которых ясно различимы и не влияют друг на друга. Тогда можно четко выделить предшествующие обстоятельства *A*, *B*, *C*… и определить, какое из них причина. Но и здесь мы отвлекаемся от возможности совместного действия этих обстоятельств, соединяющихся в какие-то комплексы *AB*, *BC*, *AC*…

Принципы индукции существенно упрощают природу. Они представляют ее подобной роялю, в котором каждая струна соответствует одному, и только одному, клавишу, действующему совершенно независимо от других клавишей.

С этим упрощением и связано то, что данные принципы, как и любые методы индуктивного исследования, дают только вероятное знание. Однако вероятность вероятности рознь, и чем выше вероятность полученного знания, тем лучше.

Как можно повысить вероятность утверждений о причинных связях? В общем-то с помощью тех же приемов, которые используются для повышения вероятности всякого индуктивного вывода.

Прежде всего, определенную пользу может принести увеличение количества исходных данных. Если мы наблюдали большое число положительных случаев и ни

одного отрицательного, то говорим, что индуктивное подтверждение является сильным.

Имеет также значение разнообразие исходных данных и случайность их выбора. Рассматриваемые случаи должны отличаться друг от друга настолько, насколько это возможно. При выборе не следует руководствоваться какой-то предвзятой идеей, а надо стремиться, чтобы данные представляли исследуемую область более или менее равномерно. Скажем, если проверяется закон теплового расширения, то не следует ограничиваться испытанием одних твердых тел. Если проверяется положение, что металлы – хорошие проводники электричества, надо не ограничиваться испытанием образцов из железа, а проверить столько металлов, сколько возможно, при различных условиях – горячими, холодными и т. п.

ПОЗНАНИЕ КАК ТВОРЧЕСТВО

Ф. Бэкон, положивший начало систематическому изучению индукции, весьма скептически относился к популярной индукции, опирающейся на простое перечисление подтверждающих примеров. Он писал: «Индукция, которая совершается путем простого перечисления, есть детская вещь, она дает шаткие заключения и подвергнута опасности со стороны противоречащих частностей, вынося решение большей частью на основании меньшего, чем следует, количества фактов, и притом только тех, которые имеются налицо». Этой «детской вещи» Бэкон противопоставлял свои индуктивные принципы установления причинных связей. В последних, заявлял он, «и заключена, несомненно, наибольшая надежда».

Бэкон даже полагал, что предлагаемый им индуктивный путь открытия знаний, являющийся очень простой, едва ли

не механической процедурой, «почти уравнивает дарования и мало что оставляет их превосходству…».

Продолжая его мысль, можно сказать, что он надеялся едва ли не на создание особой «индуктивной машины». Вводя в такого рода вычислительную машину все предложения, относящиеся к наблюдениям, мы получали бы на выходе точную систему законов, объясняющих эти наблюдения.

Программа Бэкона была, разумеется, чистой утопией. Никакая «индуктивная машина», перерабатывающая факты в новые законы и теории, невозможна. Индукция, ведущая от частных утверждений к общим, дает только проблематичное, а не достоверное знание.

Это относится и к принципам Бэкона – Милля. Как показал уже сам Милль, эти принципы в конечном счете опираются как раз на третировавшуюся Бэконом индукцию через простое перечисление. Производимое ими впечатление известной надежности и строгости связано с тем, что в них обычная индукция комбинируется с элементами дедуктивного рассуждения.

Все это еще раз подтверждает простую в своей основе мысль: познание реального мира – это всегда творчество. Стандартные правила, принципы и приемы, какими бы совершенными они ни были, не дают гарантии достоверности нового знания. Самое строгое следование им не предохраняет от ошибок и заблуждений.

Всякое открытие требует таланта и творчества. И даже само применение разнообразных приемов, в какой-то мере облегчающих путь к открытию, является творческим процессом.

Полагая, что только индукция дает подлинно новое знание, а дедукция лишь разворачивает то, что уже известно, и Бэкон, и Милль противопоставляли индукцию дедукции и

преувеличивали значение первой. Критикуя этот чрезмерный «индуктивизм», Ф. Энгельс писал, что индукция и дедукция «связаны между собою столь же необходимым образом, как синтез и анализ. Вместо того чтобы односторонне превозносить одну из них до небес за счет другой, надо стараться применять каждую на своем месте, а этого можно добиться лишь в том случае, если не упускать из виду их связь между собою, их взаимное дополнение друг друга». В реальном познании индукция и дедукция в равной мере необходимы и важны. <…>

ЧТО ТАКОЕ АНАЛОГИЯ

Существует интересный способ рассуждения, требующий не только ума, но и богатого воображения, исполненный поэтического полета, но не дающий твердого знания, а нередко и просто вводящий в заблуждение. Этот очень популярный способ – *умозаключение по аналогии*.

Ребенок видит в зоопарке маленькую обезьянку и просит родителей купить ему этого «человечка в шубе», чтобы дома можно было играть и разговаривать с ним. Ребенок убежден, что обезьяна – это человек, но только в шубе, что она умеет, подобно человеку, играть и разговаривать. Откуда это убеждение? По внешнему виду, мимике, жестам обезьяна напоминает человека. Ребенку кажется, что с нею, как и с человеком, можно играть и говорить.

Познакомившись с журналистом, мы узнаем, что этот интеллигентный, широко образованный человек свободно говорит по-английски, по-немецки и по-французски. Встретив затем другого журналиста, интеллигентного, образованного, хорошо владеющего английским и немецким языками, мы можем не удержаться от искушения и спросить, не говорит ли он и по-французски.

В обоих случаях рассуждение идет по одной и той же схеме. Сопоставляются два объекта и оказывается, что они сходны в каких-то своих признаках. Из этого делается вывод, что их сходство распространяется и на другие еще не рассматривавшиеся признаки. При таком рассуждении знание, полученное из рассмотрения одного предмета, переносится на другой менее изученный предмет. Это и есть умозаключение по аналогии.

Такое умозаключение по ходу мысли, по логической структуре очень простое. Ставший уже классическим пример о жизни на Марсе особенно наглядно демонстрирует эту простоту.

Сторонники гипотезы о возможности жизни на Марсе рассуждают так. Между Марсом и Землей много общего: это две расположенные рядом планеты Солнечной системы, на обеих есть вода и атмосфера, не очень существенно различается температура на их поверхности и т. д. На Земле имеется жизнь. Поскольку Марс очень похож на Землю с точки зрения условий, необходимых для существования живого, значит, и на Марсе, по всей вероятности, есть жизнь. Этот пример подчеркивает принципиальную особенность умозаключения по аналогии: оно не дает достоверного знания. Есть ли жизнь на Марсе, нет ли там жизни – современной науке неизвестно. Сопоставление Земли и Марса, прослеживание их сходства не является, конечно, доказательством существования жизни на Марсе. Это сопоставление, как бы далеко оно ни шло, способно дать только *предположительное знание*, *гипотезу*, нуждающуюся в прямой проверке. Не всегда аналогия выступает в такой прозрачной форме. Нередко, столкнувшись с рассуждением по аналогии, трудно установить, какие именно объекты

сравниваются между собой и по каким свойствам, какие известные черты одного из них переносятся на другой.

В «Рассказах о детях» В. Вересаев приводит такой случай: «Мальчик Игорь всех изводил вечными надоедливыми вопросами: “почему?” Один знакомый профессор психологии посоветовал:

– Когда надоест, отвечайте ему: “Потому что перпендикуляр!” Увидите, очень быстро отвыкнет.

Вскоре:

– Игорь, не лезь на стол!

– Почему?

– Потому что нельзя на стол лазить.

– Почему нельзя на стол лазить?

– Потому что ты ногами его пачкаешь.

– Почему ногами пачкаешь?

Строго и веско:

– Потому что перпендикуляр!

Игорь замолчал. Широко раскрыл глаза.

– Пек… пер… куляр?

– П-е-р-п-е-н-д-и-к-у-л-я-р! Понял? Ступай!

Так несколько раз было.

Дня через четыре утром входит Игорь.

– Игорь, почему ты не здороваешься?

– Не хочется.

– Почему же тебе не хочется?

– Потому что я сердит.

– Почему сердит? Ах боже мой! Почему же ты сердит?

– Потому что перпендикуляр!

С большим трудом удалось отучить: во всех затруднительных случаях прикрывался перпендикуляром».

Здесь явно чувствуется, что ребенок рассуждает по аналогии. Но что и с чем он сопоставляет и какой делает вывод?

Чтобы ответить на этот вопрос, нужна небольшая реконструкция.

Вначале ребенок бесконечно задает вопросы взрослому. Когда последнему надоедает отвечать, он ссылается на непонятный «перпендикуляр», и на этом все вопросы кончаются. Затем взрослый настойчиво спрашивает ребенка. Как только ребенку надоедает отвечать, он, подобно взрослому, ссылается на тот же «перпендикуляр» и ожидает, что после этого вопросов больше не будет.

Сравниваются, таким образом, две ситуации: в первой ребенок задает много вопросов взрослому, а во второй – взрослый ребенку. Эти ситуации во многом сходны. Ребенок, кроме того, замечает особенность первой из них: после «перпендикуляра» вопросы не задаются. Эту черту он и переносит по аналогии на вторую ситуацию, делая вывод, что и в этом случае обращение к «перпендикуляру» снимет дальнейшие расспросы.

Этот вывод является, конечно, не более, чем гипотезой, причем гипотезой, имеющей малую вероятность. Ситуации действительно сходны, но не полностью. В одном случае вопросы задает ребенок, а в другом – взрослый; реакция же взрослого на «перпендикуляр» скорее всего будет иной, чем реакция ребенка.

Аналогия может выступать и в форме, напоминающей *популярную индукцию*.

К примеру, человек прочел «Записки Пиквикского клуба» Ч. Диккенса – понравилось, прочел «Оливера Твиста» – тоже понравилось. На этом основании он заключает, что и роман Диккенса «Домби и сын», к чтению которого он только приступил, окажется интересным.

В начале этого и подобных ему рассуждений констатируется, что каждый из встречавшихся ранее

предметов некоторого рода имел определенное свойство. В заключении выражается предположение, что и следующий встреченный предмет этого рода также будет обладать данным свойством. Если бы, прочитав два-три произведения Диккенса и найдя их интересными, кто-то пришел к мысли, что все произведения этого классика интересны, – это была бы популярная индукция. В приведенном же примере от знания об отдельных объектах совершается переход к знанию еще об одном, опять-таки индивидуальном, объекте.

Другой пример – уже из астрономии – позволит яснее понять различие между аналогией и популярной индукцией. И. Кеплер нашел, что Марс описывает вокруг Солнца траекторию в форме эллипса. Зная также, что имеется много общего между Марсом и Меркурием, Венерой, Землей, Юпитером и Сатурном, Кеплер заключил, что все планеты Солнечной системы движутся по эллиптическим орбитам. В этом рассуждении комбинируются аналогия и популярная индукция. Форма траектории Марса известна, значит, и похожий на него Меркурий описывает такую же траекторию. Это верно также для Венеры, Земли, Юпитера и Сатурна. Получив посредством аналогии знание об орбитах отдельных планет, можно выдвинуть индуктивное обобщение: не только рассмотренные, но и вообще все планеты Солнечной системы движутся по эллипсам.

Итак, в обычном мышлении умозаключение по аналогии редко встречается в ясной, не требующей размышления и реконструкции форме. Чаще всего аналогия оказывается свернутой, какие-то части умозаключения опускаются. Иногда она протекает так, что ее можно спутать с популярной индукцией.

Нередко аналогией называют рассуждения, заведомо не являющиеся умозаключениями по аналогии.

В сказке Л. Кэрролла «Алиса в стране чудес» есть такой диалог. Алиса спрашивает Чеширского кота:

– А откуда вы знаете, что вы не в своем уме?

– Начнем с того, что пес в своем уме. Согласна?

– Допустим, – согласилась Алиса.

– Дальше, – сказал кот. – Пес ворчит, когда сердится, а когда доволен, виляет хвостом. Ну, а я ворчу, когда я доволен, и виляю хвостом, когда сержусь. Следовательно, я не в своем уме.

Кот сравнивает здесь свое поведение с поведением пса в тех же обстоятельствах, или, как обычно говорят, «проводит аналогию». Однако рассуждение кота – это не умозаключение по аналогии. Последнее требует, чтобы на основе сходства известных черт делался вывод о совпадении и других черт. Этого в данном случае как раз нет. Пес в своем уме, из чего кот заключает, что сам он, в противоположность псу, явно не в своем уме.

СХОДСТВО СВОЙСТВ И СХОДСТВО ОТНОШЕНИЙ

Аналогия – старое понятие, известное уже греческой науке и средневековому мышлению. И уже в древности было замечено, что уподобляться друг другу, соответствовать и быть сходными по своим свойствам могут не только предметы, но и отношения между ними.

Пионеры воздухоплавания не могли справиться с проблемой продольного изгиба крыльев своих летательных аппаратов. В 1895 г. Ф. Шаню сделал биплан с крыльями, соединенными стойками (подпорками). Конструкция была похожа на ажурный мост, и не удивительно: Шаню был инженером-мостостроителем и увидел аналогию между своим делом и проблемой укрепления крыльев аэроплана без их утяжеления.

Изобретатель паровой турбины Ч. Парсонс начал свою работу, исходя из аналогии между потоком пара и потоком воды в гидравлической турбине.

Уподобление крыла аэроплана – мосту и потока пара – потоку воды – это выявление *сходных свойств* разных объектов. Заметив это сходство, можно продолжить его и заключить, что сравниваемые предметы подобны и в других своих свойствах.

В хорошо известной планетарной модели атома его строение уподобляется строению Солнечной системы. Вокруг массивного ядра на разном расстоянии от него движутся по замкнутым траекториям легкие электроны, подобно тому как вокруг Солнца обращаются планеты. В этой аналогии устанавливается, как и обычно, сходство, но не самих предметов, а *отношений* между ними. Атомное ядро не похоже на Солнце, а электроны – на планеты. Но отношение между ядром и электронами во многом подобно отношению между Солнцем и планетами. Заметив это сходство, можно попытаться развить его и высказать, например, предположение, что электроны, как и планеты, движутся не по круговым, а эллиптическим траекториям. Это будет умозаключение по аналогии, но опирающееся уже не на сходство свойств предметов, а на сходство отношений между в общем-то совершенно разными предметами.

Хороший пример аналогии отношений приводит польский философ Н. Лубницкий. Вообразим себе караван, идущий в пустыне на заходе солнца. Тени, падающие на песок, удлинены и деформированы. Но каждому положению, каждому движению наездников и животных соответствует определенное положение и движение тени на песке. Между людьми и верблюдами и их искаженными тенями мало сходства. Животные и люди являются трехмерными, цветными;

тени же плоские, черные, карикатурно удлиненные. И вместе с тем между миром вещей и миром их теней есть элемент подобия и даже тождества. В обоих мирах существуют одни и те же отношения. Взаимные положения теней являются такими же, как взаимные положения членов каравана. Каждому наклону головы, каждому движению ноги наездника или верблюда отвечает точно такое же движение соответствующей тени на песке. Можно сказать, что поведение теней строго аналогично поведению тех объектов, которые отбрасывают эти тени.

При *аналогии отношений* уподобляются отношения. Сами же предметы, между которыми эти отношения имеют место, могут быть совершенно разными.

Могущество такой аналогии, освобожденной от груза «предметности», необычайно велико. Используя ее, можно установить неограниченное число черт сходства между самыми отдаленными областями. Выявляемые при этом подобия будут не массивными, зримыми подобиями вещей самих по себе, а более тонкими сходствами их отношений.

Аналогия отношений, способная сопоставить и сблизить все что угодно, является мощным оружием человеческого мышления, требующим, однако, особой осторожности и рассудительности при его применении. В умелых руках такая аналогия может стать средством глубоких, опережающих свое время прозрений или ярких, поэтических образов, заставляющих увидеть мир в новом свете и в необычном ракурсе.

При поверхностном применении аналогия отношений превращается в орудие безудержной, непродуктивной фантазии, обрывающей связи с реальным миром и пренебрегающей существующими в нем связями и отношениями.

Около трехсот лет назад, на заре современной науки, аналогия – и особенно аналогия отношений – была чрезвычайно популярна. Однако устанавливаемые с ее помощью подобия оказывались, как правило, поверхностными и легковесными. Так, отношение светил к небу, в котором они мерцают, уподоблялось отношению травы к земле, живых существ – к земному шару, на котором они живут, минералов и алмазов – к породам, в которых они содержатся, органов чувств – к лицу, которое они одушевляют, пигментных пятен на коже – к телу, которое они тайком отмечают, и т. п. Широкое хождение имела старая, еще средневековая аналогия между растением и животным: растение – это животное, голова которого внизу, а рот – или корень – погружен в землю.

Ясно, конечно, что познавательная ценность всех этих уподоблений равна нулю. Они фиксируют чисто внешнее сходство отношений, существующих между разнородными вещами, подменяют конкретное исследование этих отношений бесконечными уподоблениями их каким-то иным отношениям, расплывчатым и лишенным ясного содержания. Посредством таких аналогий можно сблизить любые объекты, ничего не сказав о них по существу.

Ученые XVII в. любили сопоставлять человеческое тело с земным шаром: кожа человека – это поверхность земли, его кости – скалы, вены – большие потоки, а семь главных частей тела соответствуют семи металлам, сокрытым в рудных жилах.

Многое ли можно почерпнуть из этого сопоставления? Ровным счетом ничего. Можно придумать тысячу разных аспектов, в которых отношения между частями тела человека будут похожи на отношения между частями земли. Но

установление всех таких поверхностных аналогий не даст никакого знания ни о человеческом теле, ни о земном шаре.

Подобные аналогии не просто бесполезны, но, хуже того, вредны. Они опутывают объекты, нуждающиеся в исследовании, густой паутиной надуманных, вычурных и совершенно пустых конструкций, внушают иллюзию ясности и понятности того, что еще только предстоит изучить.

СХОДСТВО НЕСХОДНОГО

Иногда говорят, что процесс мышления – это только установление сходства и различия. Если бы это действительно было так, любое сколь угодно сложное рассуждение человека удалось бы разложить на серию элементарных действий, каждое из которых либо отождествляет подобные друг другу объекты, либо различает разные. Ясно, однако, что человеческое мышление не настолько просто, чтобы его удалось с достаточной полнотой описать с помощью такого бедного содержанием и не особенно ясного понятия, как «сходство», или связанного с ним понятия «различие».

Главный герой повести Ю. Трифонова «Обмен» рассуждает: «В мире нет ничего, кроме жизни и смерти. И все, что подвластно первой, – счастье, а все, что принадлежит второй… А все, что принадлежит второй, – уничтожение счастья. И ничего больше нет в этом мире».

Попытка свести мышление исключительно к отождествлению и различению предметов аналогична этому скудному, однотонному описанию человеческого существования, использующему только два понятия – жизни и смерти.

Понятие сходства может быть, однако, с успехом применено для разъяснения и уточнения рассуждений по аналогии.

Аналогия во всех случаях означает определенное *подобие*, *сходство:* вещей, свойств, отношений. Но не всякое сходство есть аналогия. Например, два близнеца очень похожи друг на друга, но вряд ли можно сказать, что они являются «аналогами» друг друга. Аналогия – только частный случай сходства. Начало рассуждения по аналогии всегда требует установления определенного сходства. Сама аналогия – это всего лишь продолжение первоначального сходства, перенос его с известных свойств на неизвестные.

В мире бесконечное множество сходных между собой вещей. Абстрактно говоря, при желании и достаточной фантазии можно отыскать сходство между любыми двумя произвольно взятыми объектами. Соседствование в пространстве, в котором природа разместила две вещи, может казаться не внешним отношением между ними, а знаком их, по крайней мере, смутной близости и отдаленного родства. Охотник и дичь определенно сходны, поскольку они находятся в отношении соперничества и являются как бы зеркальным отображением друг друга, и т. д.

Но если все можно уподобить всему, возникает вопрос, какие вещи или их отношения разумно, допустимо, целесообразно и т. п. уподоблять, а какие нет?

Очевидно, что однозначного ответа на этот вопрос не существует. Можно сказать, что «разумность» уподобления определяется в конечном счете тем контекстом, той ситуацией, в которой сопоставляются предметы.

Быть может, эти электроны –
Миры, где пять материков,
Искусства, знанья, войны, троны

И память сорока веков!
Еще, быть может, каждый атом –
Вселенная, где сто планет.
Там все, что здесь, в объеме сжатом,
Но также то, чего здесь нет…

В романе «Восстание ангелов» А. Франс сравнивает пламя зажженной спички со Вселенной. В этом пламени есть частицы, подобные звездам и планетам; на некоторых частицах живут, подобно людям, мельчайшие существа, которых нам никогда не увидеть; эти существа влюбляются, строят, спорят, и все это до тех пор, пока человек, зажегший спичку, не дунет на ее пламя и не погасит его.

Такие «свободные» аналогии прекрасно звучат в художественном произведении. Однако в книге по физике они выглядели бы, скорее всего, нелепо. С изменением контекста меняется и само понятие «разумности» уподобления. То, что хорошо в искусстве, может оказаться никуда не годным в науке, и наоборот.

В той же физике можно было бы, наверное, найти аспект, в котором трепещущее, неоднородное пламя спички удалось бы уподобить Вселенной. Но эта физическая аналогия вряд ли имела бы художественную ценность.

Понятие контекста является одновременно и широким и неопределенным. Контекст включает и то конкретное изложение или доказательство, в рамках которого встречается умозаключение по аналогии, и намерения, знания, переживания тех, кто прибегает к аналогии или оценивает ее, и более широкую среду общения, ситуацию, в которой они находятся. Иногда для суждения о «разумности» или «оправданности» аналогии приходится принимать во внимание целую эпоху.

Как бы широко ни простиралось и как бы вольно ни истолковывалось сходство, оно никогда не будет полным и абсолютным.

Два близнеца очень похожи, но все-таки во многом они различаются. Настолько различаются, что родители, как правило, не путают их. Две буквы «е» в слове «веер» чрезвычайно похожи, и тем не менее они разные. Одна из них может оказаться пропечатанной слабее, чем другая; если даже типографски они окажутся совершенно идентичными, они все-таки различаются соседствующими с ними буквами или знаками (как в нашем случае). Если бы и в этом буквы «е» совпадали, они все равно остались бы различными: одна из них встречается в предложении раньше другой. Если бы и этого не было, не было бы вообще двух букв, т. е. двух *разных* букв.

Сходство всегда сопряжено с различием и без различия не существует. В этом плане аналогия – это всегда попытка продолжить *сходство несходного*.

Как только это осознается, встает самый важный вопрос, касающийся аналогии. Рассуждение по аналогии продолжает сходство, причем продолжает его в новом, неизвестном направлении. Не наткнется ли эта попытка расширить сходство на неожиданное различие? Как разумно продолжить и развить установленное начальное сходство? Каковы критерии или гарантии того, что подобные в чем-то объекты окажутся сходными и в других своих свойствах?

Умозаключение по аналогии не дает достоверного знания. Если посылки такого умозаключения являются истинными, то это еще не означает, что и его заключение будет истинным: оно может быть истинным, но может оказаться и ложным.

Простой пример. Квадрат и прямоугольник сходны: это плоские геометрические фигуры, их противоположные

стороны равны и параллельны. У прямоугольника, как подсказывает само его название, все углы прямые. Можно заключить по аналогии, что и у квадрата все углы также являются прямыми. Этот вывод истинный. Из сходства квадрата и прямоугольника и того, что у квадрата все стороны равны, можно сделать по аналогии вывод, что и у прямоугольника они равны. Но это уже будет неверно.

Проблематичность, или вероятность, может быть большей или меньшей. Аналогию, дающую высоко вероятное знание, принято называть *строгой* или *точной*. Научные аналогии обычно являются строгими. Рассуждения по аналогии, нередкие в повседневной жизни, как правило, поверхностны и не особенно строги. От аналогий, встречающихся в художественной литературе, точность вообще не требуется. У них иная задача, и оцениваются они по другим критериям, прежде всего – по силе художественного воздействия.

ГАРАНТИИ ПРОДОЛЖЕНИЯ СХОДСТВА

Как повысить вероятность выводов по аналогии?

В начале рассуждения по аналогии фиксируется сходство сопоставляемых объектов. Здесь следует стремиться к тому, чтобы было схвачено и выражено действительное, а не кажущееся или мнимое сходство. Желательно, чтобы сравниваемые объекты были подобны в важных, существенных признаках, а не в случайных и второстепенных деталях. Полезно также, чтобы круг совпадающих признаков этих объектов был как можно шире.

Для строгости аналогии важен, далее, характер связи сходных признаков предметов с переносимым признаком. Информация о сходстве должна быть того же типа, что и информация, распространяемая на другой предмет. Если

исходное знание внутренне связано с переносимым признаком, вероятность вывода заметно возрастает.

Допустим, что мы сопоставляем двух людей: оба они родились в одном и том же году, ходили в один и тот же детский сад, окончили одну и ту же школу, причем по всем предметам получили одинаковые оценки, оба неженаты. Об одном из них известно, что он мастер спорта по футболу. Можно ли с достаточной вероятностью заключить, что и второй – тоже мастер футбола? Вряд ли. Намеченная общность их биографии никак не связана с игрой в футбол. Вот если бы мы знали сверх того, что оба они посещали одну и ту же спортивную школу, а потом вместе играли в дублирующем составе известной футбольной команды, вероятность вывода, несомненно, возросла бы.

Или другой пример, две девушки жили в одном доме, вместе ходили в школу, учились в одном институте на одном факультете, обе мечтали стать космонавтами, короче, во всем, не исключая мелочей, их биографии были похожи. Известно, что одна из них вышла замуж за архитектора. Можно ли, продолжая детальное и обширное сходство между этими девушками, сделать вывод, что и вторая из них одновременно вышла замуж за этого же архитектора? Разумеется, нет. Вероятность такого вывода была бы равна нулю.

Таким образом, при построении аналогии важно не столько обилие сходных черт объектов, сколько характер связи этих черт с переносимым признаком.

Кроме того, при проведении аналогии необходимо тщательно учитывать не только сходные черты сопоставляемых предметов, но и их различия. Как бы ни были подобны два предмета, они всегда в чем-то отличаются друг от друга. И если их различия внутренне связаны с признаком, который предполагается перенести с одного

предмета на другой, аналогия неминуемо окажется маловероятной, а возможно, вообще разрушится.

Интересный пример неверной аналогии приводят И. и Дж. Медавар в книге «Наука о живом».

Произведения человеческих рук, используемые в качестве орудий и инструментов, в определенной степени являются продолжением человеческого тела. Применение микроскопа и телескопа наделяет человека сверхзрением. Одежда выполняет некоторые из защитных функций шерстного покрова животных. Антибиотики иногда делают то, чего не могут сделать антитела, находящиеся в крови человека и препятствующие вторжению в его организм инфекции. Гейгеровский счетчик снабжает человека органом чувств, аналога которого у него вообще нет, – он позволяет регистрировать, например, рентгеновское и гамма-излучение. Подобные инструменты иногда называют «внешними органами».

Очевидно, что эти органы претерпевают медленные, веками длящиеся изменения, которые можно назвать «эволюцией». Существуют многие параллели между эволюцией самого человека и эволюцией его «внешних органов». Например, в обоих случаях можно найти рудиментарные органы вроде давно уже не выполняющих никакой функции волос на лице человека и пуговиц, упорно пришиваемых на обшлага пиджаков. Есть и более серьезные параллели, например то, что эволюционные изменения в обоих случаях происходят не одновременно во всей популяции, но появляются сначала у ограниченного числа ее членов и лишь затем распространяются на всю популяцию. Так, велосипеды и автомобили были вначале только у немногих, а потом постепенно стали общедоступными.

Хотя параллель между эволюцией человека и эволюцией «внешних органов» достаточно очевидна и кое в чем поучительна, она наталкивается на важные различия.

Обычная органическая эволюция идет благодаря действию генетического организма. Эволюция «внешних органов» возможна лишь благодаря передаче информации от одного поколения к другому по негенетическим каналам. Абсолютно господствующее положение среди них занимает язык. Возможно, именно потому, что тонкостью, гибкостью и способностью передавать информацию язык превосходит генетический механизм, эволюция «внешних органов» и оказывается гораздо более быстродействующим фактором изменчивости, чем обычная человеческая эволюция.

Далее, процесс эволюции «внешних органов» носит характер постепенного и последовательного накопления, наследования приобретенных черт. Для сохранения цивилизации необходима передача от поколения к поколению накопленных знаний и методов, а также произведений искусства и других творений духа.

В обычной же эволюции подобного накопления нет. Скажем, дети горцев, постоянно двигающихся по склонам, вовсе не рождаются с одной ногой чуть длиннее, чтобы им удобнее было ходить.

И наконец, обычная эволюция необходима, нельзя ожидать, что, допустим, развитие человека пойдет однажды в обратном направлении и приведет со временем к существу, от которого он когда-то произошел. Эволюция же «внешних органов» в принципе может оказаться обратимой – для этого нужно, чтобы произошел полный разрыв культурных связей между поколениями. Нужно надеяться, что разум человека этого не допустит.

Иногда специалисты по логике и моделированию говорят, что если выводы по аналогии относятся к абстрактным предметам, подобным числам или геометрическим фигурам, то при определенных условиях аналогия может все-таки привести к достоверному заключению. Это происходит в том случае, если установлено строгое соответствие между элементами двух сравниваемых систем, а также операциями, свойствами и отношениями, характерными для данных систем. В качестве примера обычно приводятся отношения между фотографией и оригиналом, переводом языкового текста и оригиналом, географической картой и соответствующей местностью, чертежом машины и самой машиной и т. п.

Нетрудно, однако, заметить следующее. Рассуждение, в котором сопоставляются, скажем, фотография и оригинал или чертеж и машина и привлекаются дополнительные сведения о строгом соответствии между ними, просто не является умозаключением по аналогии. Реконструированное во всех своих элементах, такое рассуждение оказывается довольно сложным дедуктивным умозаключением. Последнее же дает, как известно, истину, если его посылки истинны. То, что по общему ходу движения мысли эта дедукция напоминает аналогию, вовсе не означает, что есть какие-то исключения из общего принципа: заключение аналогии проблематично. <…>

ОТКРЫТИЯ И ИЗОБРЕТЕНИЯ ПО АНАЛОГИИ

В науке рассуждения по аналогии применяются столь же широко, как и во всех других областях человеческой деятельности. Этому совершенно не мешает то, что аналогия дает не твердое знание, а только более или менее вероятные предположения. Причем нельзя сказать, что ученые

используют по преимуществу строгие аналогии, вероятность заключений которых относительно высока. Разумеется, ученые стремятся – и в общем небезуспешно – именно к такого рода аналогиям. Но вместе с тем в научном творчестве, наряду с самыми точными из всех встречающихся аналогий, нередки весьма приблизительные, а то и просто поверхностные уподобления.

Объяснение этого – в сложности процесса научного познания и в многообразии тех задач, которые решаются в науке с помощью аналогий.

Точная аналогия, конечно, идеал ученого. Она возможна, однако, только в достаточно развитых областях знания. На начальных стадиях исследования обычно приходится довольствоваться примерными уподоблениями.

Далее, ученый может обращаться к аналогии с разными целями. Она может привлекаться, чтобы менее понятное сделать более понятным, представить абстрактное в более доступной, образной форме, конкретизировать отвлеченные идеи и проблемы и т. д. По аналогии можно также рассуждать о том, что пока недоступно прямому наблюдению. Она может служить средством выдвижения новых гипотез, являться своеобразным методом решения задач посредством сведения их к ранее решенным задачам и т. д.

В зависимости от целей рассуждения аналогия должна быть как можно более точной или же может быть довольно свободной, не стесняющей творческое воображение и фантазию исследователя.

Французский инженер С. Карно, заложивший в начале прошлого века основы теории тепловых машин, смело уподобил работу такой машины работе водяного двигателя. Физическая аналогия между переходом тепла от нагретого тела к холодному и падением воды с высокого уровня на

низкий – пример строгой аналогии, опирающейся на существенные черты уподобляемых объектов.

В истории физики есть и примеры весьма свободных аналогий, сыгравших вместе с тем важную роль в развитии этой науки. Так, И. Кеплер, открывший законы движения планет, уподоблял притяжение небесных тел взаимной любви. Солнце, планеты и звезды он сравнивал с разными обликами бога. Эти сопоставления кажутся сейчас по меньшей мере странными. Но именно они привели Кеплера к идее ввести понятие силы в астрономию.

Рассуждение по аналогии дало в науке многие блестящие результаты, нередко совершенно неожиданные.

В XVII в. движение крови в организме сравнивали с морскими приливами и отливами. Врач В. Гарвей ввел новую аналогию – с насосом и пришел к фундаментальной идее непрерывной циркуляции крови.

Химик Д. Пристли воспользовался аналогией между горением и дыханием и благодаря этому смог провести свои изящные эксперименты, показавшие, что растения восстанавливают воздух, израсходованный в процессе дыхания животных или в процессе горения свечи.

Д. Гершель обнаружил, что пламя спиртовки становится ярко-желтым, если поместить в него немного поваренной соли. А если посмотреть на него через спектроскоп, то можно увидеть две желтые полосы из-за присутствия натрия. Гершель высказал мысль, что сходным путем можно обнаружить присутствие и других химических элементов, и впоследствии его идея подтвердилась и возник новый раздел физики – спектроскопия.

И. Мечников размышлял о том, как человеческий организм борется с инфекцией. Однажды, наблюдая за прозрачными личинками морской звезды, он бросил несколько

шипов розы в их скопление; личинки обнаружили эти шипы и «переварили» их. Мечников тут же связал этот феномен с тем, что происходит с занозой, попавшей в палец человека: занозу окружает гной, который растворяет и «переваривает» инородное тело. Так родилась теория о наличии у животных организмов защитного приспособления, заключающегося в захватывании и «переваривании» особыми клетками – фагоцитами – посторонних частиц, в том числе микробов и остатков разрушенных клеток.

Г. Мендель из своих простых опытов над горохом вывел путем аналогии следствия, которые привели к концепции доминантных и рецессивных признаков у всех живых организмов.

Д. Менделеев расположил химические элементы в порядке возрастания их атомного веса и упорядочил их в строки и колонки на основе сходства свойств. Однако в построенной на основе этих принципов таблице оказались пробелы. Все известные в то время элементы были распределены, а места 21, 31 и 32 таблицы остались незаполненными. Менделеев предположил, что эти места должны быть заняты еще не открытыми элементами. На основе известных элементов, занимающих аналогичные места в системе, он указал количественные и качественные свойства трех этих элементов. Вскоре они были открыты, и предсказание Менделеева блестяще подтвердилось.

Г. Лейбниц уподобил процесс логического доказательства вычислительным операциям в математике. Вычисление суммы или разности чисел осуществляется на основе простых правил, принимающих во внимание только форму чисел, а не их смысл. Результат вычисления однозначно предопределяется этими, не допускающими разночтения правилами, и его нельзя оспорить. Лейбниц

попытался умозаключение преобразовать в вычисление по строгим правилам. Он верил, что если это удастся, то споры, обычные между философами по поводу того, что твердо доказано, а что нет, станут невозможными, как невозможны они между вычислителями. Вместо спора философы возьмут в руки перья и скажут: «Давайте посчитаем». Примерно через два столетия аналогия между математическими и логическими операциями произвела переворот в формальной логике и привела к современному этапу в развитии этой науки – математической логике.

Аналогия между живыми организмами и техническими устройствами лежит в основе бионики. Это направление кибернетики изучает структуры и жизнедеятельность организмов; открытые закономерности и обнаруженные свойства используются затем для решения инженерных задач и построения технических систем, приближающихся по своим характеристикам к живым системам.

Таким образом, умозаключение по аналогии не только позволило объяснить многие новые явления и сделать неожиданные и важные открытия, оно привело даже к созданию новых научных направлений или к коренному преобразованию старых.

Рассуждение по аналогии незаменимо при реконструкции прошлых событий. Иногда в историческом исследовании оно приобретает характер деятельности, параллельной той, которая имела место когда-то, в далеком прошлом.

Археолога не удовлетворяет осмотр найденных при раскопках примитивных каменных орудий. Он берет такие же осколки камней, как и те, что использовались тысячи лет назад, и терпеливо высекает каменный топор. Сходство этого топора со своим первобытным прототипом – веский аргумент в пользу предлагаемой реконструкции первобытной жизни.

Этнограф наблюдает, как коренной алеут добывает огонь трением, затем сам вооружается дощечкой с углублением, заостренной палочкой и кусочком мха и повторяет увиденное.

Знаменитый русский этнограф Н. Миклухо-Маклай несколько лет провел среди полинезийцев, пользуясь главным образом теми же предметами труда и быта, что и они.

В ирландском эпосе есть сказание, датируемое примерно VIII в. и повествующее о дальнем плавании аббата Брендана с товарищами, совершенном еще в VI в. Географ Тим Северин детально изучил это сказание и пришел к выводу, что Брендан – лицо историческое и что он действительно совершил плавание из Ирландии в Северную Америку, о чем говорят весьма достоверные географические детали, упоминаемые в описании его морского похода. Северин решил повторить плавание, происходившее почти полторы тысячи лет назад, на примитивной лодке, построенной в духе того времени. В 1976 и 1977 гг. он с небольшой интернациональной командой на лодке, сшитой из бычьих шкур, прошел гипотетическим маршрутом Брендана. Путь был многоступенчатым, острова служили промежуточными пунктами.

Во время плавания участники экспедиции еще раз убедились, как реально отражены различные географические детали в «Сказании о Брендане». Это плавание стало убедительным аргументом в пользу гипотезы о том, что ирландцы открыли Северную Америку примерно на пять веков раньше, чем норманны.

Однако плавание Северина – только аналогия, и посещение ирландцами Северной Америки остается пока гипотезой. О подтверждении ее с полной уверенностью можно было бы говорить, если бы удалось найти предметы

материальной культуры ирландцев на Североамериканском континенте.

Вполне доказанным считается открытие Северной Америки норманнами около 1000 года. Современные исследователи повторили путь первопроходца Лейва Эйриксона, а позднее норвежский археолог Хельге Ингстад обнаружил на Ньюфаундленде руины поселения норманнов. Теперь день норманна Эйриксона отмечается в США наряду с днем генуэзца Колумба.

Не менее важную роль играет аналогия и в технике. Это настолько очевидно, что в примерах почти нет нужды.

И. Гутенберг пришел к идее передвижного шрифта по аналогии с чеканкой монет. Так было положено начало книгопечатанию, открыта «галактика Гутенберга», преобразовавшая всю человеческую культуру.

Первая идея Э. Хау, изобретателя швейной машины, состояла в совмещении острия и ушка на одном конце иглы. Как возникла эта идея – неизвестно. Но главное его достижение было в том, что по аналогии с челноком, используемым в ткацких станках, он изготовил шпульку, которая продергивала дополнительную нить через петли, сделанные игольным ушком, и таким образом родился машинный шов.

В. Вестингауз долго бился над проблемой создания тормозов, которые одновременно действовали бы по всей длине поезда. Прочитав случайно в журнале, что на строительстве тоннеля в Швейцарии буровая установка приводится в движение сжатым воздухом, передаваемым от компрессора с помощью длинного шланга, Вестингауз увидел в этом ключ к решению своей проблемы.

Ч. Дюрейа изобрел карбюратор с распыляющим инжектором. Необходимость получения смеси бензина с

воздухом была для него ясна уже много лет, но лишь увидев у жены пульверизатор для разбрызгивания духов, он перенес идею на двигатель внутреннего сгорания – и добился успеха.

ПОНИМАНИЕ ПО АНАЛОГИИ

Итак, рассуждение по аналогии, порождающее новые идеи и решения, является переносом, продолжением сходства. Понятия, допущения, формально-математические структуры и т. п. из той области, где уже была продемонстрирована успешность их применения, переносятся в другую область, являющуюся для исследователя центром его проблемной ситуации. В основе переноса лежит предположение о сходстве, разумеется, неполном, между двумя областями. Первоначальная ситуация выступает в качестве того образца, под который подгоняется новая ситуация.

Аналогия – мощный генератор новых идей, гипотез, предположений. Причем важно, что аналогии создают для науки не просто запас идей, но арсенал решений, точнее, их полуфабрикатов. Ученые вовсе не склонны, как нередко считается, идти на риск ради самого риска. Перенос идеи, уже апробированной в другой области, увеличивает их убежденность в эффективности используемых методов и, значит, в возможности конечного успеха. Аналоговые переносы – твердая почва для контролируемого риска. С их помощью мобилизуются решения, уже доказавшие свою работоспособность, хотя и в другом контексте, и устанавливаются взаимосвязи между новыми идеями и тем, что уже считается достоверным знанием. Новые идеи не возникают на пустом месте. Они – результат преобразования уже известного, и старый опыт служит для них определенным подкреплением.

Иногда говорят, что применение аналогии ограничено, что новое знание – это как раз то знание, которое не имеет аналогии. История науки убеждает в обратном: самое радикальное новшество обнаруживает некоторые неожиданные аналогии с уже имеющимися знаниями.

Аналогия является также мощным средством установления связи между отдаленными областями и тем самым сближения их.

Одно из наиболее важных понятий в биологии – *гомология,* т. е. сходство органов животных и растений по основному плану строения. Это сходство объясняется общностью происхождения, параллельной генетической детерминацией или тем, что данные органы являются завершением одного какого-то эволюционного ряда. Гомология – биологическая разновидность аналогии.

Гомологичными являются, например, грудной плавник у рыб, крыло у птиц и передняя конечность у млекопитающих. Все эти органы возникли в процессе развития, начавшегося с простой пятилучевой (пятипалой) структуры.

Лошади, коровы, овцы, свиньи, жирафы входят в группу копытных животных. О них можно сказать, что они «ходят на цыпочках», их копыта гомологичны ногтям и когтям млекопитающих других групп и имеют тот же химический состав. У копытных сустав на передней ноге гомологичен запястью, а на задней – голеностопному суставу. Главный палец передней ноги непарнокопытных, например лошади, соответствует среднему пальцу, а второй и четвертый превратились в рудименты, не достающие до земли. На передних же ногах парнокопытных, например коровы, оставшиеся пальцы соответствуют нашему среднему и безымянному. «Как легко заметить, – пишут английские

биологи П. и Дж. Медавар, – изучение гомологии вносит порядок и смысл в то, что иначе выглядело бы огромной беспорядочной грудой зоологической информации».

Другой пример – уже из кибернетики. Н. Винер проанализировал ряд случаев, свидетельствующих о существовании подобия между структурой поведения систем, совершенно не связанных друг с другом. Прослеживая аналогию между тем, как охотник преследует убегающего от него зверя, и движением управляемого снаряда, настигающего вражеский самолет, он показал, что отношение снаряда к самолету точно такое же, как охотника к зверю. Это означает, что математическое описание системы «охотник – зверь» можно рассматривать в качестве модели отношений в системе «снаряд – самолет», и наоборот. Такое описание может применяться также в случае других, подобных этим, природных или технических систем.

Роль аналогии в качестве средства сближения отдаленных областей не следует, конечно, переоценивать. Как раз в этом можно упрекнуть средневековое мышление, для которого уподобление одних предметов другим было излюбленной мыслительной операцией. Аналогия оказывалась в итоге основой единства рисуемой картины окружающего мира. Эту средневековую традицию бесконечных и к тому же до крайности поверхностных уподоблений продолжала позднее магия, устанавливавшая «бесконечные, напряженные и вибрирующие цепи подобий», связывающие и сближающие самые отдаленные вещи и явления.

Подобного рода внешние аналогии подменяют действительные взаимосвязи вещей заведомо фантастическими и создают видимость ответа на те вопросы, которые еще только предстоит исследовать. Подлинное

единство мира состоит, как известно, в его материальности, а не в надуманных подобиях вещей друг другу.

Аналогия часто используется для облегчения понимания. Особенно хороши для этой цели рассуждения по аналогии, уподобляющие абстрактные, недоступные наблюдению объекты каким-то конкретным вещам, тому, что можно увидеть, услышать, потрогать. Конкретизация отвлеченной идеи, представление ее в образной, наглядной форме нередко дает больше для схватывания этой идеи, чем длинное, основательное, но столь же абстрактное ее разъяснение. Разумеется, далеко не всякую абстракцию можно уподобить чему-то конкретному. Кроме того, такое уподобление значительно упрощает и даже искажает существо дела. И тем не менее удачно подобранный образ очень многое значит для облегчения понимания. Важно только, чтобы он ограничивался своей вспомогательной, служебной ролью и не уводил в сторону от разъясняемого им объекта.

Когда в 20-е годы этого века была выдвинута гипотеза, что атомное ядро состоит лишь из протонов и нейтронов, многие пришли в недоумение: как можно утверждать, что в ядрах нет электронов, если все видят, что они вылетают из ядер? В. Гейзенберг, одним из первых выдвинувший эту гипотезу, вспоминал, как однажды он пытался объяснить свою теорию группе коллег. Ожесточенный спор завязался прямо в университетском кафе, которое было расположено рядом с бассейном. Исчерпав все абстрактные физические доводы, Гейзенберг призвал на помощь более наглядные представления. «Посмотрите в окно! – призвал он коллег. – Вы видите, как в бассейн входят люди. Они одеты! Но неужели вы думаете, что и в бассейне они плавают в пальто? Откуда же берется такая уверенность, что из ядра выходят точно такие же частицы, что были внутри?»

Это – неглубокая аналогия, но и она оказалась в какой-то мере небесполезной.

Важны рассуждения по аналогии, когда речь идет об объектах, недоступных прямому изучению.

Долгое время, пока Луна и планеты Солнечной системы не стали исследоваться с помощью космических аппаратов, о возможности жизни на этих небесных телах рассуждали только по аналогии. Например, сторонники гипотезы о существовании на Марсе растительности искали на Земле места, хотя бы отдаленно напоминающие по климатическим условиям поверхность Марса. Найдя высоко в горах примитивные растения, они оценивали это как аргумент в пользу своей гипотезы.

Современные рассуждения о возможности существования разумных цивилизаций на каких-то планетах за пределами Солнечной системы также строятся по аналогии.

Представление о роли умозаключений по аналогии в науке было бы, конечно, неполным без упоминания о *моделях* и *моделировании*.

Аналогия является неотъемлемым структурным компонентом любой формы *научного моделирования*. Модель – это «представитель» или «заместитель» оригинала в познании или практике. Когда невозможно изучать оригинал, строят его модель, исследуют ее и затем полученные результаты переносят на оригинал. Возможность такого переноса основана на том, что модель в определенном смысле «повторяет» оригинал, отображает какие-то его свойства.

Например, для того чтобы изучить аэродинамику самолета, делают небольшую модель самолета и продувают ее в аэродинамической трубе. Результаты продувок переносят затем на самолет.

Моделироваться могут самые разнообразные объекты, живые и неживые системы, инженерные устройства, физические, химические, биологические и социальные процессы. Сами модели также могут быть очень разными. *Предметные* модели воспроизводят определенные геометрические, физические или функциональные характеристики оригинала. *Знаковые* модели – это схемы, чертежи, формулы. Важнейшим видом таких моделей являются математические модели, представляющие собой системы формул.

Модель и оригинал сходны в каких-то одних отношениях и различны в других. Модель упрощает в каких-то аспектах оригинал, не воспроизводит всех тех свойств, которые присущи ему. Она имеет к тому же свои собственные свойства, отсутствующие у оригинала. Поэтому распространение на оригинал знания, полученного при исследовании модели, требует особой осторожности, как, впрочем, и в случае всякого рассуждения по аналогии.

ТИПИЧНЫЕ ОШИБКИ

До сих пор речь шла по преимуществу о том, к каким интересным и плодотворным заключениям можно прийти, используя умозаключение по аналогии. Но аналогия может иногда быть заведомо поверхностной, вести к ошибочному выводу, а то вообще заводить в тупик. Многие бытующие до сих пор предрассудки, вроде веры в приметы или гадания, опираются на ошибочные аналогии.

Нужно помнить поэтому не только о полезных применениях аналогии, но и о тех случаях, когда она ведет к недоразумениям и прямым ошибкам.

Начнем с самых простых примеров.

В «естественно-разговорном представлении» Козьмы Пруткова «Опрометчивый турка, или: Приятно ли быть внуком?» происходит такой диалог:

«Госпожа Разорваки. …Сколько верст от Москвы до Рязани и обратно?

Либенталь. В один конец могу сказать, даже не справившись с календарем, но обратно не знаю.

(Все отворачиваются в одну сторону и фыркают, издавая носом насмешливый звук.)

Либенталь *(обиженный).* Могу вас уверить!.. Ведь от рождества до пасхи столько-то дней, а от пасхи до рождества столько-то, но не столько, сколько от рождества до пасхи. Следовательно…»

Из этого рассуждения по поводу двух религиозных праздников ничего, разумеется, не следует в отношении расстояния «от Москвы до Рязани и обратно». Аналогия заведомо несостоятельна и рассчитана лишь на комический эффект.

Важную роль в решении задач играет перенос приемов решения одной задачи на другую. Если какую-то задачу не удается решить сразу, полезно вспомнить: не встречалась ли раньше сходная задача? Но аналогию и здесь не следует переоценивать. Если одним методом удалось решить несколько задач, то еще нет оснований быть уверенным, что и следующая задача будет решена этим же методом: она может оказаться очень простой, но относиться к совершенно иному типу.

Подобная ситуация описывается в рассказе канадского юмориста С. Ликока «Тест». Джон Смит сначала отбывал воинскую повинность в пехоте, но оказался слишком туп для этого рода войск. В коннице он зарекомендовал себя еще хуже. Оставалось одно – перевести его в другое подразделение. Здесь ему устроили проверку «на смекалку и предприимчивость».

«– Скажи мне, – обратился к нему офицер, – что это такое: имеет две подошвы, два каблука и двадцать четыре дырки для шнурков.

Джон Смит напряженно думал около трех минут. На лбу у него выступили мелкие капли холодного пота.

– Не могу знать, сэр, – наконец произнес он.

– Вот чудак, – усмехнулся офицер. – Это же одна пара ботинок! Но продолжим. Скажи, что такое: имеет четыре подошвы, четыре каблука и сорок восемь дырок для шнурков.

Спустя пять минут взмокший от напряжения Джон повторил:

– Не могу знать, сэр…

– М-мда-а… Это же две пары ботинок! Ну, попробуем последний вопрос. Что имеет шесть ног, два рога и в мае летает и жужжит? Если не ответишь, я уж и не знаю, что с тобой делать.

Не долго думая, Джон Смит выпалил:

– Так это ж три пары ботинок, сэр!..»

Наиболее часто встречающиеся неверные аналогии, пожалуй, те, в которых что-то сравнивается с человеком. Популярность подобных аналогий объясняется, наверно, тем, что человек очень многогранен и уподоблять ему можно многое. Вместе с тем человек кажется настолько простым, что все о нем известно будто бы каждому.

Древние философы, последователи Пифагора, занимавшиеся астрономией, отказывались допустить беспорядок в мире планет и признать, что они движутся иногда быстрее, иногда медленнее, а иногда и вовсе остаются неподвижными. Ведь никто не потерпел бы такой «суетливости» в движениях солидного человека. Поэтому она нетерпима и в движениях планет. Правда, житейские обстоятельства часто заставляют людей двигаться то быстрее, то медленнее, но в сфере небесных тел обстоятельствам нет места.

Как сказал по этому поводу с иронией М. Цицерон, «предполагать, что звезды должны соблюдать в походке и внешности те правила приличия, которые предписывали самим себе длиннобородые философы, – это значило искать доказательство по аналогии в очень уж далекой области».

Наивно и опрометчиво уподоблять без разбора все, что подворачивается под руку, человеку, его биологическим или социальным особенностям. Человек – очень своеобразный и очень сложный объект. Сопоставлять что-то с ним без глубокого размышления и анализа – значит серьезно рисковать провести ошибочную параллель.

Уподобление человеку, наделение присущими ему психическими свойствами предметов и явлений неживой природы, небесных тел, животных, мифических существ и т. д. получило название *антропоморфизма.* Истолкование окружающего мира по аналогии с человеком было широко распространено на ранних ступенях развития общества.

Антропоморфизм характерен для всякого религиозного мировоззрения, переносящего облик и свойства человека на вымышленные предметы, вроде бога, ангелов и т. п.

Антропоморфны в известной мере многие образы в искусстве, особенно в поэзии. Иногда и в науке употребляются антропоморфные понятия: в кибернетике говорят, например, что машина «запоминает», «решает задачу» и т. п. Но как в искусстве, так и в науке уподобление человеку не понимается буквально. В искусстве оно связано с требованием высокой эмоциональной выразительности, в науке – с нежеланием отходить от обычного употребления слов и усложнять без необходимости свой язык.

Характерный для современности интерес к человеку сместил акценты. Человек предстал как уникальное по своей сложности существо двойственной природы, социальное и

биологическое одновременно. Попытки истолковать и понять что-то по аналогии с ним стали встречаться гораздо реже. Но зато возникла тенденция истолковывать самого человека по аналогии с какими-то другими объектами и прежде всего – с другими живыми существами. Такие аналогии допустимы и иногда полезны. Но они требуют особого внимания, поскольку при сравнении человека с чем-то иным всегда есть риск чрезмерного, неоправданного упрощения и умаления его своеобразия и неповторимости.

Таким грубым упрощением является, в частности, аргумент, что люди не выживут, поскольку не выжило большинство других животных. Достаточно обратить внимание на осознанность и целенаправленность человеческого поведения, на ту роль, какую играют в процессе развития общества социальные ценности, чтобы понять несостоятельность этой аналогии между обществом и животным миром.

Многие поверхностные аналогии порождаются уподоблением всего, что придется, *числам* и *отношениям между ними*.

Распространенность такого рода аналогии связана скорее всего с ощущением особой сложности и особого положения идеального мира чисел. В нем, как кажется, царит некая таинственная специфическая гармония, слабым отблеском которой являются отношения вещей в обычном мире. Одно время даже говорили о «мистике чисел» и ее влиянии на ход реальных событий. Так, поэт В. Хлебников, сопоставляя даты знаменательных событий, происшедших в прошлом, пытался вывести закон, позволяющий предсказывать точное время наступления будущих великих событий.

Никакой особой таинственности – и тем более мистики – в мире чисел, конечно, нет. Он всего лишь своеобразное отражение реального мира, и не более. Обращаться к числу как

к какому-то специфическому, избранному объекту разного рода уподоблений нет особых оснований.

Сейчас это достаточно ясно, но в прошлом «мистика чисел» завораживала даже крупные умы.

В древности некоторые числа считали «совершенными» и заключали, что эти числа должны лежать в основе великих явлений природы. К совершенным относилась, например, шестерка (она равна сумме всех своих множителей), и в этом видели добавочное доказательство существования именно шести планет.

Более сложную, но столь же искусственную и ошибочную «числовую аналогию» проводил И. Кеплер. Он полагал, что может быть только шесть планет, потому что существует только пять правильных тел.

Комбинируя различным образом расстояния планет, Кеплер пришел к убеждению, что ему удалось найти закон, связывающий эти расстояния. Этот весьма изящный с геометрической точки зрения закон заключался в следующем. Представим себе сферу, радиус которой равен расстоянию от Меркурия до Солнца. Опишем около этой первой сферы восьмигранник, а около этого восьмигранника – вторую сферу. Около нее опишем двадцатигранник, а около него – третью сферу. Продолжая таким же образом описывать последовательно двенадцатигранник и четвертую сферу, четырехгранник и пятую сферу, наконец, шестигранник и шестую сферу, найдем, что радиусы сфер от первой до шестой включительно представят расстояния от Солнца до планет Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер и Сатурн.

Идею этого «изящного закона» внушила Кеплеру чисто внешняя аналогия между планетами и правильными геометрическими телами. Не удивительно, что закон оказался неверным. <…>

ТЕМА 2. ОБОСНОВАНИЯ И ДОКАЗАТЕЛЬСТВА

Научное исследование всегда представляет собой предложение по решению некоторой проблемы, и в этом смысле состоит из некоторого утверждения и его обоснования.

Это противоречит укоренившейся в бытовом представлении формулировке о том, что наука «устанавливает факты». Действительно, каждая наука в свое время проходит определенный этап «собирательства», накопления материала, разрозненных в большей или меньшей степени наблюдений и их описания. Это вполне естественно, потому что в отрыве от предмета изучения получается то, что наилучшим образом иллюстрируют многочисленные исторические анекдоты об ошибках Аристотеля, который писал, что у мухи 8 ног, у женщин зубов меньше, чем у мужчин, у рыб нет мочевого пузыря, потому что они мало пьют, так как в воде холодно, а у черепахи есть, так как в пустыне жарко (и, видимо, она там поэтому много пьет). Эти анекдоты в очень значительной степени апокрифичны, однако тут как с Богом – даже если всех этих историй на самом деле не происходило, их следовало бы выдумать[1], потому что слишком часто, отрываясь от материала, наука начинает на себе паразитировать и сама себя изживает. В то же время необходимо хорошо понимать, что, прежде чем начнется упомянутый период накопления данных, должен возникнуть какой-то *вопрос*, на который без этого накопления не находится ответ.

Накопленный материал позволяет нам *выдвинуть*, а затем *проверить* и *обосновать* гипотезу, что-то объяснить или доказать.

Вот каким образом изложен этот тезис в книге М. Р. Коэна и Э. Нагеля «Введение в логику и научный метод» [Коэн, Нагель].

[1] Утверждение «если бы Бога не существовало, его следовало бы изобрести» стало идиомой благодаря стихотворению Вольтера «Автору новой книги о трех обманщиках».

Коэн М. Р., Нагель Э. Введение в логику и научный метод. С. 263–273.

Глава XI. Гипотезы и научный метод

«Те, кто отказывается выходить за пределы фактов, редко продвигаются далее самих фактов... Практически каждый великий шаг [в истории науки] стал следствием "предвосхищения природы", т. е. изобретения гипотез, которые, будучи верифицируемыми, зачастую изначально имели крайне слабые основания».

Т. Г. Хаксли

«Как странно не видеть того, что всякое наблюдение, претендующее на полезность, должно быть подтверждением или опровержением некоторой точки зрения».

Чарльз Дарвин

§ 1. Причины и функции исследования

Во второй книге своего восхитительного труда «История» Геродот подробно описывает виды, встретившиеся ему при путешествии в Египет. Река Нил привлекла к себе его внимание:

19. Когда Нил выходит из берегов, то не только заливает дельту, но даже и часть так называемых Ливийской и Аравийской областей, именно [область] на два дня пути в обе стороны (иногда больше, иногда меньше). О природных свойствах этой [удивительной] реки я не мог ничего узнать ни от жрецов, ни от кого-либо другого. Именно я старался дознаться у них, почему Нил, начиная от летнего солнцестояния, выходит из берегов и [вода его] поднимается в течение приблизительно 100 дней; по истечении же этого срока вода снова спадает, река входит в свое прежнее русло и затем низкий уровень воды сохраняется целую зиму, вплоть до следующего летнего солнцестояния. Ни один египтянин не мог мне ничего сообщить о [причинах] этого явления, никто не был в состоянии ответить на вопрос: отчего природа Нила прямо противоположна природе остальных рек.

Путем расспросов я желал узнать причину указанного явления и почему из всех рек [на свете] только с этой реки не дуют [холодные] ветры.

20. Однако некоторые эллины, которые хотели, конечно, прославиться своими знаниями и проницательностью, высказали три различных объяснения причин разливов [Нила]. Два из них, собственно, даже не заслуживают обсуждения (разве что вкратце), но мне хочется, по крайней мере, упомянуть о них. Согласно одному толкованию, причиной нильских разливов являются этесийские ветры, которые-де препятствуют реке течь в море. Однако в иные годы этих ветров не бывает, но подъем воды в Ниле все-таки происходит. К тому же если бы причиной тут были ветры, то и все другие реки, также текущие против них, должны были бы вести себя подобно Нилу.

21. Второе толкование еще неразумнее и, так сказать, удивительнее первого. Оно гласит: подъем и спад [воды Нила] происходит оттого, что Нил вытекает из Океана, а этот Океан обтекает всю землю кругом.

22. Наконец, третье объяснение, хотя и наиболее правдоподобное, тем не менее самое ложное. Действительно, и оно так же решительно ничего не объясняет, утверждая, будто Нил выходит из берегов от таяния снегов. Между тем Нил течет из Ливии, затем проходит через Эфиопскую землю и впадает в море в Египте. В самом деле, как же [разлив] Нила может происходить от [таяния] снегов, если эта река течет из самых жарких стран в страны значительно более холодные. По крайней мере, всякому, кто вообще в состоянии судить о таких предметах, представляется невероятным, чтобы [разлив] Нила происходил от [таяния] снегов. Первый и решающий довод [против этого] – знойные ветры, дующие из этих стран. Во-вторых, в этой земле вовсе не бывает дождей, и

она никогда не покрывается льдом. После же снегопада в течение пяти дней непременно должны выпадать дожди. Поэтому если бы [в этих странах] шел снег, то были бы также и дожди. В-третьих, люди там черные от действия [сильного] зноя. Коршуны и ласточки остаются там целую зиму, а журавли, спасаясь от скифских холодов, прилетают в эти места на зимовку. Итак, если бы в этой стране, по которой течет и откуда берет начало Нил, выпадало бы хоть немного снега, то ни один из приведенных фактов был бы невозможен, как это и логически необходимо.

23. Толкователь же, который рассуждает об Океане, забрался в такую темную, неизведанную область и [потому] ничего не доказывает. Мне, по крайней мере, ничего не известно о существовании реки Океана. Имя «Океан» придумал, по моему мнению, Гомер или еще какой-нибудь древний поэт и ввел его в свою поэзию.

Далее Геродот предлагает собственное объяснение поведения реки.

Доводилось ли читателю считать или утверждать, что способ открытия истины заключается в «изучении фактов» или в том, чтобы «позволить фактам говорить самим за себя»? Если да, то пусть он внимательнее проанализирует приведенную цитату на предмет обнаружения природы обстоятельств, при которых происходит обогащение знания. В вводной главе к данной книге мы уже сказали, что до тех пор, пока привычные верования не будут подвержены сомнению путем внесения изменений в окружающую нас обстановку или в силу нашего любопытства, нельзя будет вообще сказать, что мы думаем. Наше мышление будет в лучшем случае иметь рутинный характер. Теперь же мы намерены усилить данную мысль и указать на ее важность при понимании природы критического, или научного, метода.

Данный отрывок из Геродота с ясностью иллюстрирует склонность греков к научному знанию и к спекуляциям. Но при этом он также иллюстрирует огромную разницу между привычкой простого принятия случайной и несвязной информации и установкой, направленной на отыскание порядка в фактах, которые лишь кажутся изолированными. Наблюдаемый разлив Нила для многих был просто грубым фактом, не связанным с другими известными, но изолированными фактами. Однако для Геродота поведение Нила не было просто грубым фактом. Оно представляло проблему, которая могла бы быть разрешена только посредством отыскания некоторой общей связи между периодическим разливом Нила и другими фактами.

Следовательно, мнение о том, что истина обнаруживается при «исследовании фактов», является крайне поверхностным. Оно является поверхностным потому, что никакое исследование не может начаться до тех пор, пока не будет установлено некоторое затруднение в практической или теоретической ситуации. Именно это затруднение, или проблема, руководит нашим поиском такого порядка среди фактов, который позволил бы разрешить затруднение. Было бы невозможно открыть причины разлива Нила, если бы мы изначально не рассматривали разлив как проблему, требующую решения.

Если наличие проблемы является причиной исследования, то решение этой проблемы является целью и функцией исследования. Что требуется для удовлетворительного решения проблемы и, в частности, проблемы, связанной с причиной разлива Нила? Ответ, который искал Геродот, подразумевал обнаружение связи между фактом поведения Нила и другими фактами; именно в силу этой связи кажущиеся изолированными факты

предстанут в упорядоченном виде. Говоря в общем, научные исследования должны начинаться с некоторой проблемы и быть нацеленными на поиск порядка, связывающего то, что на первый взгляд кажется не относящимися друг к другу фактами. Однако способность усматривать в грубом опыте причину проблемы, а особенно проблемы, решение которой обусловит решение других проблем, не распространена среди людей, ибо не существует правила, по которому люди могли бы научиться задавать значимые вопросы. Усмотрение затруднений там, где обычные люди не видят ничего сомнительного, является признаком научного гения.

§ 2. Формулировка релевантной гипотезы

Каким образом осуществляется поиск порядка среди фактов? Читателю следует обратить внимание на то, что проблему изначально даже нельзя сформулировать, если мы не знакомы с предметной областью, в которой она обнаруживается. Греки увидели проблему в поведении Нила потому, что они были знакомы с поведением других рек, и потому, что им было также известно, что поведение рек связано с такими факторами, как ветер, снегопад или испарение.

Для того чтобы сформулировать нечетко ощущаемое затруднение в виде конкретной проблемы, мы должны иметь возможность выбрать на основании ранее имеющегося знания определенные элементы предметной области, которые являются значимыми. Так, Геродот обратил внимание на расстояние, которое покрывала разливающаяся вода, время, в которое начинается разлив, время, в которое он достигает своего максимума, а также отсутствие ветров над рекой. Геродот сформулировал затруднение, имеющее место в общей ситуации, именуемой «разливом Нила», именно в

терминах данных различимых и повторяющихся элементов. Однако его внимание привлекли именно эти элементы, а не какие-нибудь другие, потому что он был знаком с некоторыми теориями, объясняющими поведение рек. Именно в силу своего знакомства с этими теориями Геродот обратил внимание на ветры, снегопады и испарение, а не на другие факторы и постарался отыскать связь между данными факторами и поведением Нила.

Нам не удастся продвинуться ни на йоту ни в одном исследовании, если мы не начнем его с предполагаемого объяснения, или решения, изначального затруднения. Такие пробные объяснения подсказываются нам самой предметной областью, а также имеющимся у нас знанием. Будучи сформулированными в виде суждений, данные пробные объяснения называются гипотезами.

Функция гипотезы заключается в том, чтобы направлять наш поиск порядка среди фактов. Сформулированные в гипотезе предположения могут оказаться решением проблемы. Задача исследования заключается в определении того, являются ли они решением или нет. Ни одно из наших предположений не должно с необходимостью привести нас к нашей цели. Зачастую некоторые из высказанных предположений являются несовместимыми с другими, и поэтому все они не могут оказаться решением одной и той же проблемы.

Ниже мы обсудим формальные условия, которые должна выполнять удовлетворительная гипотеза. На данном этапе читателю следует отметить, что для решения проблемы периодических разливов Нила Геродот рассмотрел три гипотезы (помимо своей собственной). Последнюю он принял только после того, как отбросил три первые. На самом деле все четыре объяснения являются ложными. Однако, несмотря на это, процедура, которой следовал Геродот,

отвергая одни гипотезы и принимая другие, до сих пор представляет модель научного метода.

Важность гипотезы в направлении исследования может быть проявлена с еще большей ясностью, если мы еще раз проанализируем распространенный совет: «Пусть факты говорят сами за себя». Чем являются факты и которые из них нам следует изучать? Геродот мог бы наблюдать за разливами Нила до бесконечности и все равно не обнаружить в самом факте разлива требующихся ему повторяющихся связей, например, связи между разливами и выпадением осадков в Центральной Африке. Решение стоящей перед ним проблемы могло быть обнаружено только в случае открытия неизменной связи между разливами Нила и некоторым другим фактом. Но каким другим фактом? Число других фактов бесконечно, и простое наблюдение за Нилом могло бы никогда не позволить обнаружить ни этого другого факта, ни типа его связи с разливом. Факты для изучения необходимо отбирать на основании некоторой гипотезы.

Для того чтобы гипотеза могла направлять исследование, необходимо, чтобы одни факты рассматривались в ней как значимые, а другие – нет. На практике Геродот не смог бы исследовать отношения между разливами Нила и всеми другими классами событий. Сама по себе подобная задача рассматривалась бы им как абсурдная, поскольку большинство из этих других фактов, таких, как количество молитв, возносимых египтянами ежедневно, или число чужеземцев, ежегодно посещающих долину Нила, Геродот считал нерелевантными.

Однако что имеется в виду, когда утверждается, что одни гипотезы выражают «релевантную» связь фактов, а другие нет? Геродот мог бы объяснить, что таяние снегов является релевантным фактом относительно поведения Нила потому,

что, согласно имеющемуся ранее знанию, можно утверждать, что таяние снегов с большим или меньшим постоянством связано определенным образом с объемом воды в реках. Но число приезжих в долине Нила нерелевантно относительно поведения Нила, поскольку неизвестно отношение между изменениями числа приезжих в определенную местность и изменениями объема воды в реках. Гипотеза считается релевантной для данной проблемы, если она выражает определенные виды связей между набором фактов, среди которых присутствует и изучаемый факт; во всех остальных случаях гипотеза считается нерелевантной.

Нельзя сформулировать правила, по которым можно «натолкнуться» на релевантную гипотезу. В процессе последующих исследований может быть обнаружено, что любая гипотеза, считающаяся релевантной, на самом деле таковой не является. Или же нам может казаться, что определенные факты релевантны для некоторой проблемы, но в результате дальнейшего исследования обнаружится обратное. Не имея знания об исследуемой предметной области, мы не можем обоснованно судить о релевантности тех или иных факторов.

Из сказанного следует, что ценные предположения относительно способов решения проблемы могут исходить только от тех, кто знаком с типами связей, имеющими место в исследуемой предметной области. Таким образом, маловероятно, что объяснение периодических разливов Нила посредством ссылки на сильные дожди может быть предложено тем, кто заранее не знаком с существующим отношением между осадками и разливами рек. Поэтому гипотезы, предлагаемые исследователями в качестве объяснений, по крайней мере, отчасти являются производными от знания, которым исследователи обладали заранее.

§ 3. Дедуктивное развитие гипотез

Теперь проанализируем еще раз проведенную Геродотом процедуру уже в терминах установленных нами различий.

Поиск объяснения поведения Нила был поиском общего правила, в котором утверждалась бы универсальная связь между фактами определенного вида и некоторыми фактами другого вида. Задача Геродота заключалась в том, чтобы показать, что общее правило, предложенное ему в виде гипотезы, было в действительности применимо для конкретной рассматриваемой проблемы. Каким образом он ее достигал?

Аргумент, использованный Геродотом для отвержения первой теории, может быть сформулирован следующим образом. Защитник этой теории предлагает свой аргумент:

Если дуют этесийские ветры, то Нил разливается (общее правило).

Нил разливается в течение ста дней, начиная с летнего солнцестояния (наблюдаемый факт).

▲Этесийские ветры дуют, начиная с летнего солнцестояния (выведенное событие).

Разумеется, данное умозаключение является необоснованным. Однако его защитник может утверждать, что подобное рассуждение представляет предположительный вероятностный вывод, в котором заключение является вероятным при данных условиях. Геродот показывает, что это не так. Он указывает на то, что мы можем привести примеры событий, когда уровень воды в Ниле поднимается (наблюдаемое событие), а этесийские ветры не дуют. Подобный случай, разумеется, не объясняется приведенным

правилом. Поэтому Геродот заключает, что гипотеза о ветрах не всегда объясняет разлив реки. Однако на этом он не останавливается, поскольку защитнику данной теории может показаться достаточным и такой предлагаемый ей непостоянный результат. Далее Геродот показывает, что логические следствия теории этесийских ветров противоречат известным фактам. Для этого он указывает на некоторые следствия, которые имплицируются данной теорией.

Он продолжает свой аргумент:

Если этесийские ветры обусловливают разлив, то и другие реки должны вести себя подобно Нилу (выработанное правило).

Эти другие реки не выходят из берегов (наблюдаемый факт).

▲ Этесийские ветры на постоянной основе не обусловливают разливы.

Данное следствие представлено смешанным условным силлогизмом. Геродот, таким образом, показал, что теория этесийских ветров не может рассматриваться как удовлетворительное объяснение проблемы.

Отвержение первой теории Геродоту пришлось осуществлять дедуктивно. Важность данного шага становится более ясной, если проанализировать его отвержение третьей теории. Ее можно сформулировать так: если в центре Африки имеет место периодическое таяние снегов, то Нил будет периодически разливаться. Геродот отвергает это объяснение не потому, что он может непосредственно наблюдать отсутствие снега в Центральной Африке, а потому, что он может наблюдать предполагаемые следствия того, что Центральная Африка является жаркой страной. А поскольку он отвергает возможность выпадения снега в теплых странах, то он также и отвергает теорию таяния

снегов как причины поведения Нила. Сформулируем в частичном виде его аргумент еще раз:

Если из определенной местности дуют жаркие ветры, то сама эта местность является жаркой (общее правило).

Горячие ветры дуют из центра Африки (наблюдаемый факт).

▲ В центре Африки жарко (выведенный факт).

Если на определенной территории выпадает снег, то там не может быть жаркого климата (правило).

Центральная часть Африки является жарким местом (выведенный факт из предшествующего умозаключения).

▲ Снег не выпадает в центральной части Африки (выведенный факт).

На основании проведенного анализа мы можем заключить, что дедуктивная разработка гипотезы должна следовать за ее формулировкой, ибо полное значение гипотезы, заключающееся в ее релевантности и способности дать удовлетворительное решение для определенной проблемы, мы можем открыть только путем обнаружения того, что эта гипотеза имплицирует. Следует отметить, что Геродот отверг вторую теорию на том лишь основании, что она была невнятно сформулирована, что делало невозможным выведение из нее каких-либо следствий.

Таким образом, мы уже можем оценить степень важности дедуктивной методики для научного метода. В главе, посвященной математике, мы видели, что сложный набор допущений может исследоваться на предмет их импликаций. Методика, исследованная в той главе, релевантна относительно дедуктивной разработки любой теории. На конкретном примере невозможно проиллюстрировать все методы, предлагаемые той или иной научной дисциплиной. Такая иллюстрация становится возможной только при

написании учебника по этой дисциплине. Однако на примере еще нескольких простых иллюстраций читатель сможет получить лучшее представление о том, насколько неотъемлемым для научной процедуры является развитие гипотезы дедуктивным способом.

Исследования падающих тел Галилеем имели одни из наиболее далеко идущих следствий. Ему удалось показать, что если мы пренебрежем сопротивлением воздуха, то скорость, с которой тела будут падать на землю, не будет зависеть от их веса. До Галилея было известно, что по мере приближения к земле скорость падающих тел увеличивается. Однако не было известно, каково отношение между скоростью, покрытым при падении расстоянием и временем, требующимся для падения. Примером какого общего закона можно было бы считать падение тела?

Галилей исследовал две гипотезы. Согласно первой из них, увеличение скорости свободно падающего тела пропорционально пройденному пути. Однако Галилей утверждал (как мы теперь знаем, ошибочно), что одним из следствий данного допущения является то, что тело должно покрывать определенный отрезок своего пути мгновенно. Последнее он считал невозможным и поэтому отвергал предложенный закон увеличения скорости.

Затем он исследовал гипотезу о том, что изменение скорости свободно падающего тела за определенный отрезок времени пропорционально самому этому отрезку. В современной записи данное допущение может быть выражено как v = at, где «v» представляет скорость, «a» – скорость, обретаемую за одну секунду, а «t» – число секунд падения тела. Это допущение также можно выразить, сказав, что ускорение падающего тела (определяемое как изменение скорости за единицу времени) является постоянным.

Однако допущение о том, что ускорение постоянно, нельзя проверить непосредственным образом. Галилею пришлось усилить свой аргумент посредством выведения других следствий из гипотезы об ускорении и демонстрации того, что эти следствия являются верифицируемыми. Аргумент стал более сильным, поскольку об истинности этих следствий ранее известно не было. Так, например, из гипотезы $v = at$ Галилей вывел суждение «путь, проделываемый свободно падающими телами, пропорционален квадрату времени их падения».

Примеры, подтверждающие данное правило, можно установить экспериментальным путем. Так, тело, падающее в течение двух секунд, проделывает в четыре раза больший путь, чем тело, падающее в течение одной секунды; а тело, падающее в течение трех секунд, проделывает в девять раз больший путь, чем тело, падающее в течение одной секунды. Данный результат усиливает основания в пользу истинности гипотезы о том, что тела падают с одинаковым ускорением.

Сходным образом из гипотезы об ускорении Галилей вывел и другие следствия, каждое из которых он мог верифицировать с большой точностью. Таким образом, основания в поддержку его гипотезы были усилены еще больше. Однако их можно было усилить только после исследования непосредственно верифицируемых импликаций теории.

Несмотря на все это, характер оснований в поддержку гипотезы об ускорении всегда остается лишь вероятностным. Истинность гипотезы является лишь вероятной относительно ее оснований потому, что всегда остается логическая возможность отыскания какой-нибудь другой гипотезы, которая также будет иметь все имеющиеся верифицированные суждения среди своих следствий. Однако она будет оставаться лучшей из всех имеющихся гипотез до тех пор, пока она будет позволять нам выводить из нее и обнаруживать еще большее

число истинных суждений. Всеобъемлющая (comprehensive) теория считается истинной с высокой степенью вероятности, если установлена эмпирическая истинность многих из ее логически возможных следствий.

Резюмируем общие свойства процедуры, проведенной Галилеем. Мы видим, что он отобрал некоторое количество примеров из собственного опыта и исследовал их. Эксперименты, проведенные им с вершины Пизанской башни, разрешили некоторые из его сомнений. Однако их разрешение лишь породило новые сомнения. Если поведение свободно падающих тел не зависело от их веса, то от чего же оно зависело? Древние, равно как и современники Галилея, уже выделяли некоторые свойства тел, нерелевантные к их поведению при падении. Негласно считалось, что температура, запах, цвет и форма тел являются в данном случае нерелевантными свойствами. Древние считали, что неважными являются также расстояние падения и его длительность. Однако Галилей отказался от этого последнего допущения и попробовал сформулировать гипотезы, в которых данные свойства тел являлись определяющими факторами относительно их поведения.

Данный отбор релевантных факторов отчасти базировался на знании, которым заранее обладал Галилей. Как и древние, он не учитывал цвет и запах падающих тел, поскольку, согласно общему опыту, цвет и запах тел мог изменяться без каких-либо изменений их поведения при падении. Однако отчасти данный отбор был осуществлен и на основании догадки о том, что некоторые из свойств, считавшихся нерелевантными, на самом деле были важными. Галилей провел успешные исследования в области физики, в которых основополагающую роль играли численные отношения, которые в те времена изучались исключительно

математиками. Он также был хорошо подкован в античной философии и имел непоколебимую уверенность в том, что «книга природы» была написана на языке геометрии. Таким образом, Галилей приступил к поиску решения вопросов о природе движения далеко не с беспристрастным сознанием, лишенным сильных убеждений и не вооруженным интересными предположениями. С ним всегда было убеждение о том, что единственными релевантными факторами в изучении движения являются скорость, время, расстояние и некоторые постоянные отношения.

Вследствие вышесказанного мы можем различить два набора идей, которые использовал Галилей при изучении движения тел. Первый набор (являющийся наибольшим) состоял из его убеждений в области математики, физики и философии, которые определили его выбор предметов и их релевантных свойств. Второй набор состоял из специальных гипотез, которые он разработал для того, чтобы открыть отношения, существующие между релевантными факторами. Первый набор представлял относительно стабильную совокупность верований и предубеждений. Вполне вероятно, что Галилей не отказался бы от них, даже если бы ни одна из двух его гипотез не получила бы экспериментального подтверждения. Второй набор, учитывая уровень научного развития времен Галилея, представлял собой неустойчивую совокупность предположений и верований и вполне возможно, что Галилей с легкостью отказался бы от своих крайне простых уравнений относительно скорости, времени, расстояния и ускорения в пользу каких-либо более сложных, если бы того потребовали результаты проведенных им экспериментов.

Именно эти специальные допущения, будучи сформулированными, превращаются в гипотезы или теории. <…>

Рассмотрим, какие обоснования принятия или непринятия гипотез встретились в этом фрагменте и вообще могут быть в научном исследовании.

Обоснования, то есть приведения оснований, на которых утверждение должно быть принято, бывают всего трех типов:

- ссылка на чувственный опыт, практику (эксперимент и наблюдение),
- ссылка на другие, уже обоснованные или иным способом признанные истинными утверждения (опосредованные, или логические, обоснования),
- ссылка на конвенции или терминологические соглашения (в регулируемых административно областях знаний сюда же стоит относить и «аргумент к авторитету», то есть ссылки на мнение регуляторов, выраженное в нормативных методических документах (хотя, строго говоря, к научному познанию такой способ доказательства имеет самое далекое отношение)).

Каждый из трех видов встретился в рассуждении и примерах Коэна и Нагеля, и, хотя впрямую это не было выражено, одному из видов отдавалось явное предпочтение – и авторами книги, и упомянутыми ими Геродотом, и Галилеем. *Желательно, чтобы учащиеся сами выявили, что это эксперимент, и высказали предположения почему*.

Рассмотрение обоснований разных типов начнем именно с эксперимента, так как именно с ним было связано задание на прошлом занятии, а также и потому, что данные, полученные экспериментально, признаются в науке наиболее вескими, хотя без обращения к опосредованному обоснованию такие результаты почти никогда не бывают универсальными.

Эмпирическое доказательство: эксперимент и наблюдение

Эксперимент является частным случаем исследования. Строго говоря, это вообще единственная возможная форма проведения исследования, просто собственно экспериментом принято называть такой, при котором над объектом изучения

действительно производятся какие-то действия, а такие эксперименты, которые проводятся в голове, без реального воздействия на объект, называются мысленными. Тут можно найти повод для дискуссии о том, что считать *реальным* воздействием, например, реально ли программное воздействие. Но на самом деле достаточно очевидно, как на практике понять, воздействовали мы на объект или только представляли себе это воздействие и моделировали его логически.

Для того чтобы результаты эксперимента имели научную ценность, он должен, конечно, производиться в соответствии с принятыми в научном сообществе правилами. Обобщенно их действительно можно свести к научной честности, как обозначил это Р. Ф. Фейнман.

Если мы попробуем приложить к честности при проведении эксперимента те признаки, которые характеризуют научное, то получится достаточно подробная инструкция о том, как провести именно научный, а не какой-либо иной эксперимент. Поскольку задание касается проведения, а не описания эксперимента, рассматриваем признаки, касающиеся процесса исследования, а не научного текста. Признаки приведены в порядке, в котором они были расставлены в таблице в предыдущей теме, сверху вниз и слева направо.

1. Экспериментатор должен задаться целью **выяснить реальное положение дел**, а не подтвердить свою догадку. Не подтвердить, а проверить.
2. Задача эксперимента – **выявить закономерность** в отношении проверяемой гипотезы. Это означает, что результаты опыта должны быть объяснены, а не просто установлено, подтверждена или опровергнута гипотеза. Эксперимент должен включать в себя все проверки, необходимые для понимания того, от чего зависит полученный результат (в идеале – почему он получается таким).
3. Гипотеза, сформулированная для эксперимента, должна быть радикальной. Нет смысла формулировать ее деликатно, так, чтобы не задеть чьи-либо чувства. Это несколько странно звучащее положение отражает приложение

к эксперименту признака «**прогрессивности**», то есть вытесняемости теорий. Ваш результат не будет ценен, если он не будет однозначно свидетельствовать в пользу чего-то и столь же однозначно опровергать другие предположения на тот же счет.

4. Казалось бы, совершенно невозможно провести эксперимент, не **полагая предмет изучения реально существующим**. Однако не стоит забывать о мысленных экспериментах, которые, в принципе, можно проводить и над откровенно выдуманными объектами. Для того чтобы над ними был возможен мысленный эксперимент, они фактически должны стать реальными, то есть позиционироваться относительно базовых понятий реальности – пространство/время; материя/идея; трехмерность, если материя; жизненный цикл; синхронный срез, на котором проводится эксперимент, и т. д. Разумеется, довольно редко эксперимент проводится над досконально известным объектом (если только он не проводится в учебных целях или для получения референсных значений), однако вопрос, который ставит перед собой экспериментатор, не должен быть «не от мира сего».

5. **Критичность** – признак, скрывающий в себе сразу два признака, с разными векторами. С одной стороны, это критичность «к себе». Эксперимент должен предусматривать максимально возможное количество проверок гипотезы на ошибочность (желательно – все возможные проверки). И с другой стороны, выявление ошибки как положительный результат: гипотеза об ошибочности некоего положения – это нормальная постановка задачи для эксперимента.

6. Применение **специального инструментария** (как в буквальном смысле – инструментов и приборов, так и в смысле приемов и методик, характерных для той или иной предметной сферы) имманентно эксперименту на сущностном уровне. Тут можно детализировать только одно – в общем случае при проведении эксперимента следует применять тот инструментарий, который свойственен данной области знаний, однако если есть предположение, что применение междисциплинарного подхода даст более точный или,

наоборот, другой, не достижимый «обычными» методами результат, то научная честность требует непременно его использовать.

7. Как проверяемая гипотеза, так и условия эксперимента, а также непосредственно сами проводимые проверки **не должны быть необоснованно усложнены**; все исключительные положения и подходы (это касается и новаторских подходов, и изменений условий относительно признанных принятыми для экспериментов данного типа, и любых других «исключений из правила») должны быть мотивированы, в противном случае – не применяться (**консерватизм**); должны быть **универсальны** – не должны сосредотачиваться на изучении одного экземпляра объекта, чем шире ассортимент объектов, тем достовернее результат (при этом репрезентативность выборки объектов должна быть обоснована); должны быть **элегантны** (это утверждение не требуется дополнительной мотивации, оно трансцедентально).

8. Эксперимент может быть признан научным, если он всегда повторяется с одной и той же зависимостью результата от условий. Это критерий научности эксперимента, но не требование к нему, так как, строго говоря, никакое количество повторений не является само по себе доказательством того, что и впредь он будет повторяться с теми же результатами. Обеспечить повторяемость результата (**воспроизводимость** эксперимента) можно путем максимально точной регистрации условий его проведения и методик проверок.

9. О том, что эксперимент является научным, может говорить его **системность**. Под системностью эксперимента понимается не только полнота перечня проверок, но и системность состава выбранных объектов – он должен включать в себя объекты всех подклассов, выделяемых в классе (причем если подклассы в классе выделяются на разных основаниях, то следует делать выборку по тому основанию, которое наиболее прямо связано с содержанием проверяемой гипотезы), и также объекты смежных классов. Это нужно для того, чтобы проверить правильность предположенной области действия гипотезы. Если окажется, что на объектах смежных классов результаты те же, гипотезу следует уточнить. Этот

критерий также не может являться требованием к научному эксперименту потому, что специфичная задача его проведения может допускать отсутствие системности. Однако наличие этого признака однозначно указывает на научность подхода.

10. **Теоретичность** сформулированной гипотезы не является требованием, но работает так же, как и любая другая избыточность. Сам факт того, что гипотеза является частью логичной и комплексной теории, а не представляет собой подвешенное в невесомости случайное предположение, делает эксперимент заметно более научным.

11. Также не может быть требованием, но однозначно свидетельствует в пользу научности эксперимента его **совместимость** – вписанность проверяемой гипотезы в систему существующих в настоящее время в науке теорий и гипотез. К этому стоит стремиться потому, что позиционирование относительно существующей теоретической базы может уточнить формулировку гипотезы, указать возможные пути проверки репрезентативности списка объектов и полноту состава проверок, правильно выбрать инструментарий и смоделировать возможные пути поиска ошибок.

12. Все применяемые для проведения эксперимента **методики и процедуры обязательно должны быть зафиксированы и неизменны** на протяжении всего эксперимента. Это звучит довольно очевидно, однако часто экспериментатор упускает из виду, что это, в частности, означает и то, что одинаковые проверки в одинаковых условиях должны быть проведены для всех объектов, над которыми проводится эксперимент. Неверно, разделив объекты на группы, различающиеся какими-то особенностями, провести над каждой группой отдельный вид проверок. Если сделать так, то это будет серия экспериментов над разными объектами, а не один эксперимент над объектами одного класса. Уровень выводов, которые способны дать эксперименты в одном и другом случае, совершенно разный.

13. Требование **объективности** в отношении эксперимента означает в первую очередь то, что исследователь должен проанализировать все реально созданные условия

проведения эксперимента и по возможности исключить случайные факторы – такие условия, которые не являются частью зафиксированной методики проведения опыта, даже если, по его мнению, они не могут оказать влияния на результат. Те побочные относительно специально сформулированных условий факторы, которые устранить невозможно, должны быть непременно внесены в условия и описаны. Это же касается фиксации абсолютно всех результатов эксперимента. Причем если необходимость фиксации неприятных для исследователя результатов очевидна (и в тех случаях, когда этого не делается, это не делается вполне сознательно), то опасность пропуска незначительных, на взгляд исследователя, или необъяснимых, возможно, кажущихся ему случайными результатов – трудно переоценить. Объективный эксперимент – это такой, в ходе которого проверено влияние на результат вообще всех факторов и который включает в себя проверки в соответствии с разными методологиями и подходами. Вряд ли такие эксперименты возможны в реальности, и меру объективности экспериментатор устанавливает сам и обосновывает как достаточную.

14. Эксперимент сам по себе является способом доказательства, причем самым сильным с научной точки зрения (доказательство, полученное эмпирически, на практике, путем эксперимента или наблюдения, всегда выше доказательства логического). Казалось бы, какой еще от него можно требовать **обоснованности**? Вместе с тем уже по ходу предыдущего описания не раз встречалось утверждение о необходимости обосновать то или иное. Обоснованными (опираться на доказанное ранее или восходить к аксиоматическому знанию) должны быть и проверяемая гипотеза, и репрезентативность выборки объектов, и репрезентативность выборки условий и состава проверок, и выбор как принципиального подхода, так и конкретной методики проведения опыта. Это, однако, не означает, что обоснование эксперимента должно вылиться в тома доказательств. Как правило, основания всех перечисленных сущностей будут восходить к одному, иначе ситуация должна насторожить исследователя. Если этого не

получается, то, скорее всего, концепция переусложнена или нелогична. За разветвленностью доказательства часто скрывается обман или самообман.

15. Эксперимент, который проводится для того, чтобы посмотреть, что получится, в общем случае не научный. Научный эксперимент должен проводиться для чего-то конкретного, с целью **найти ответ на конкретный, ясно сформулированный вопрос**.

16. Требование **эмпиричности** к эксперименту звучит довольно смешно. Однако это не лишнее уточнение приоритета практических обоснований над логическими. Все, что может иметь подтверждение на практике, по возможности (настолько, насколько это допустимо, чтобы не разрушить обозримость проводимого опыта) должно быть подтверждено именно на практике.

17. Если выполнены требования 7, 9, 12 и 13, то эксперимент наверняка окажется **верифицируемым**. Дополнительным по отношению к уже разобранным требованиям тут будет только одно – исследователь должен сознательно избегать, насколько это возможно, включения в эксперимент неповторимых, уникальных составляющих – будь то условия, объекты или инструментарий. Что делать в случае, если избежать этого не удается, разберем в одной из следующих тем.

Вернемся к задаче, поставленной в связи с прочтением эссе Фейнмана, – к описанию правильного хода любого или произвольного научного эксперимента. Учащиеся должны были почерпнуть идеи «научной честности» из эссе и состав раздела «Ход эксперимента» из инструкции по описанию научного эксперимента. Важно, что если учащиеся пошли по всей инструкции целиком, то, даже если они описали все хорошо и без ошибок, задание выполнено неверно, так как оно заключалось именно в описании *хода* эксперимента. Один из ключевых навыков аналитического чтения – это использование источника не *максимально полно*, а *для своей конкретной задачи*. Этот навык поможет избежать составления раздела

истории вопроса в НИР или дипломе из бессмысленных пересказов прочитанных книг и статей.

Исключением может быть случай, если включение в описание хода эксперимента каких-то дополнительных этапов будет учащимся мотивировано. Например, если он сочтет необходимым упомянуть подготовку материалов и описание того, как материалы были подготовлены, с обоснованием необходимости и допустимости такой подготовки и при этом прокомментирует, что считает возможным отнести это к ходу эксперимента потому, что это тоже воздействие на объект исследования, а значит, самым прямым образом влияет на его ход.

В то же время оставление подготовки материалов в стороне, не включение этого этапа в описание хода эксперимента – верно. Идеально, если это еще и будет оговорено – тогда можно с уверенностью судить о том, что учащийся сознательно оставил этап за рамками ответа, а не просто вообще о нем не вспомнил.

Итак.

Проверяемая гипотеза и ее основание

Если плюнуть в формочку для песочной пасочки и так оставить надолго, плевок потеряет пенистую структуру.

Основание для гипотезы – аналогия. В тазу, в котором разболтан стиральный порошок, стоит высокая пена. Но если таз оставить надолго, там будет просто вода, без пенистой шапки. Пена имеет свойство исчезать.

Ход эксперимента

1) Получаем эталонный результат: набираем в формочку немножко пены из таза со стиркой (столько, сколько по ощущениям сможем плюнуть), оставляем формочку надолго, убеждаемся, что пена исчезла. Таким образом исключаем возможное искажение результата из-за объема пены.

2) Проводим аналогичную проверку с разными формочками. Таким образом исключаем влияние особенностей посуды.

3) Ставим формочки с пеной в места, разные по освещенности, проветриваемости и температуре. Таким

образом убеждаемся в постоянстве эталонного результата. Пена исчезает в любом случае – различается только объем оставшейся воды.

4) Плюем в формочку, оставляем надолго. Убеждаемся, что принципиально гипотеза подтвердилась, пена исчезла.

Когда выпустят из угла – проводим остальные проверки, чтобы выявить наличие или отсутствие различий в ходе исчезаний пены от стирки и пены от плевка.

Затем проводим эксперимент с плевками людей другого пола, возраста, владеющих другими техниками плевания.

Принципиальным в данном описании является то, что проверки с измененными управляемыми факторами проводятся не только над исследуемым объектом, но и над тем, аналогия с которым проверяется. Это позволяет избежать ошибки, которая относится к одному из самых распространенных типов эмпирически полученных ошибочных выводов, когда выявленное экспериментально свойство объявляется уникальным свойством исследуемого типа объекта, а в действительности характеризует существенно более широкий класс.

Поскольку задание сформулировано через связь с эссе Фейнмана, акцент сделан именно на получении эталонного результата для правильной интерпретации результата непосредственной проверки исследуемого объекта. Те работы учащихся, в которых будет заметно отражение этой идеи, при прочих равных должны оцениваться выше.

Наблюдение по своей сути – тоже некоторый вид эксперимента, только такой, при котором исследователь не производит никакого прямого воздействия на объект исследования, а фиксирует процесс его взаимодействия со специально созданными или стихийно сложившимися условиями и обстоятельствами.

Как ни странно, разницу между экспериментом и наблюдением легко проиллюстрировать на примере лингвистики. Экспериментом будет намеренное составление контекстов употребления слова, в которых, по мнению исследователя, оно должно вести себя тем или иным образом,

и предложение этих контекстов для оценки или интерпретации носителям языка или, наоборот, изучающим язык. Наблюдением же будет анализ контекстов употребления этого слова в источниках разных типов – в литературных текстах, разговорной речи, СМИ и т. п.

Если же приводить примеры из технической области, то экспериментом будут проверки объекта по ПМИ (Программа и методика испытаний), а наблюдением – опытная эксплуатация объекта.

Логические обоснования и доказательства

На дом учащимся на предыдущем занятии было задано прочитать несколько глав книги А. А. Ивина «Искусство правильно мыслить» [Ивин], касающихся обоснований и рассуждений.

Задание учащимся в классе: пользуясь книгой (не по памяти), нарисовать схему (или схемы, если понятия соотносятся не по одному основанию) соотношения понятий, которые рассматриваются в заданных на дом главах.

Схемы должны получиться примерно такими:

Рис. 1. Соотношение понятий, называющих виды обоснований

На рис. 1 показаны отношения между собой разных видов обоснования.

На второй схеме (рис. 2) показано то, что невозможно уложить в первую схему, не перегружая ее, – этапность процесса получения нового знания и зависимость типа знания, получаемого в ходе рассуждения, от выбранного метода рассуждения.

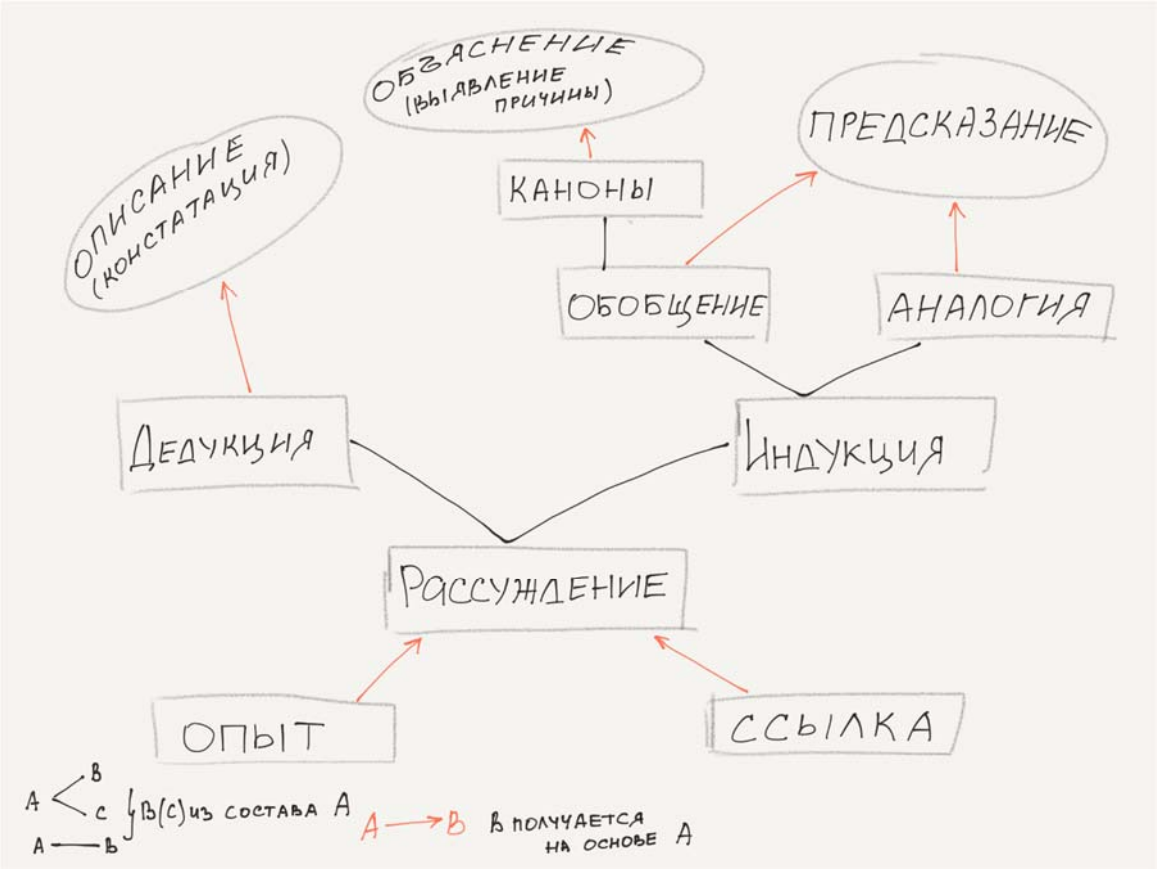


Рис. 2. Схема получения знания разных видов

Интересно обсудить вопрос, что же от чего зависит на самом деле – тип выводимого результата (объяснение/предсказание /описание) от способа рассуждения или выбор способа от задуманного типа результата. Зависимость, конечно, взаимная, но важно иметь в виду, что если задумать тип результата (допустим, объяснение, выяснение причины), а рассуждать неподходящим способом (например, проводить аналогию, что для выяснения причины не подходит) – то результат не будет объяснением, он будет предсказанием, представленным в форме объяснения. Это обязательно нужно держать в голове, чтобы избежать самообмана.

Еще более важно, что ни причина, ни предсказание не могут получиться в результате дедукции. Дедукция порождает только констатацию, так как ее выводы детерминированы. Когда нам кажется, что мы путем дедуктивного рассуждения прогнозируем, на самом деле мы просто моделируем ситуацию. Это становится очевидным, если рассудить, прогнозируем ли мы, решая задачу о том, когда поезд доберется из точки А в точку Б. Речь идет о будущем, однако, решая задачу, мы строим модель. А вот если мы попробуем таким же образом определить время прихода настоящего поезда, то это будет прогнозирование, так как все исходные данные не будут нам известны – на настоящий поезд может оказать влияние огромное число факторов разной степени предсказуемости. Все это, тем не менее, не означает, что с помощью дедуктивного рассуждения невозможно получить новое знание. Можно, если до сих пор такого же рассуждения никто не предпринимал.

Получившиеся схемы нужно прокомментировать устно. Комментарий должен содержать описание отношения понятий, причин, по которым учащийся установил именно такие отношения, а также 1-2 положения о каждом из понятий, которые учащийся находит самыми важными.

Какие основные положения хотелось бы в идеале получить от учащихся на основе материала книги Ивина:

1. Обоснование – это всегда ссылка (на то, почему мы считаем верным то, что обосновываем).
2. Ссылаться можно на опыт, источник или рассуждение.
3. Рассуждение всегда в конечном итоге опирается на утверждение, принимаемое истинным.
4. Новое научное знание может быть описанием (как обстоит дело), объяснением (выявлением причины чего-либо) или предсказанием (выявлением возможных следствий или изменений положения дел).
5. Новое научное знание всегда получается только в результате рассуждения. Ни опыт, ни ссылка на источник сами по себе нового знания не дают. Опыт, однако, может дать новые *данные*. Ссылка же может дать положение, принимаемое

истинным. На основании данных опыта и на основании ссылок на источники могут строиться рассуждения.

6. Данные эмпирических исследований (экспериментов и наблюдения) всегда вводятся в научный оборот через рассуждение. Эмпирические данные, не интерпретированные в рассуждении, остаются материалом.

7. Ссылки на определение, на авторитет или на конвенцию (договоренность) по сути всегда представляют собой общественный договор считать некое утверждение правильным. Компрометация источника ссылки может разрушить (и скорее всего разрушит) все рассуждение.

8. Дедукция – это, в сущности, формальная логика. Она позволяет получать гарантированно верные выводы из гарантированно верных посылок.

9. Дедукция в чистом виде встречается очень редко, так как научное исследование по своей природе критично, то есть любое положение может внезапно или предсказуемо быть подвергнуто сомнению и, возможно, опровергнуто. Однако целесообразно использовать схемы дедуктивного рассуждения, оговаривая, какие именно положения принимаются в рамках данного рассуждения за истинные.

10. Когда из знаний делаются предположения – это называется индукция. Индуктивное рассуждение может производиться путем обобщения или по аналогии.

11. Математическая индукция и полная индукция – это не индукция, а дедукция, так как вывод не предполагается, а следует с необходимостью.

12. Полная индукция – это когда мы устанавливаем наличие какого-либо свойства у всех предметов ряда и на этом основании считаем, что каждый из предметов ряда характеризуется этим свойством.

13. Математическая индукция – это, по сути, схема доказательства. Если мы докажем, что первый член ряда обладает неким свойством, предположим, что произвольный член ряда тоже им обладает, и докажем, что и следующий за ним обладают этим свойством, то мы доказали, что каждый член ряда обладает этим свойством. Называется «доказательство по индукции».

14. Аналогия отличается от обобщения тем, что при рассуждении по аналогии свойство или отношение переносится на другие объекты *того же или другого класса*, а при обобщении – на все объекты (в границах проводимого обобщения – в предельном случае на вообще все, хотя так, разумеется, на самом деле не бывает).

15. Аналогия может касаться переноса свойств с одних предметов на другие, а может – переноса отношений между объектами.

16. Аналогия имеет под собой тем больше оснований, чем ближе переносимое свойство или отношение к тем свойствам или отношениям, которые определяют сходство объектов (их выбор для рассуждения по аналогии).

17. Причину невозможно установить путем наблюдения. Путем наблюдения можно установить только то, что некие события следуют в определенном порядке. *Установление причины* – это всегда результат рассуждения по канонам индукции (приемы обобщения, направленные именно на выявление причинной связи). *Предположение о причине* может быть выдвинуто по аналогии или на основе наблюдения.

18. Есть 5 способов построения правдоподобного предположения о причине, они называются «5 принципов (канонов) индукции»:

- единственное сходство (если у случаев проявления следствия есть только одно-единственное сходство – вероятно, в нем и кроется причина (тем более вероятно, чем больше случаев рассмотрено)),

- единственное различие (если все случаи проявления следствия и его непроявления имеют только одно различие, то вероятно, что в нем и кроется причина (тем более вероятно, чем больше случаев рассмотрено)),

- объединенный принцип сходства и различия (вообще говоря, это объединение принципов единственного сходства и единственного различия – и оно, конечно, повышает надежность индукции),

- принцип сопутствующих изменений (изменение в причине всегда приводит к изменению в следствии),

- принцип остатков (если известна сложная причина сложного следствия и известно следствие части этой причины, то оставшаяся часть следствия вызвана оставшейся частью причины).

Когда речь идет о сходствах и различиях, напрашивается идея, что тут имеет место не обобщение, а аналогия. Однако чтобы не ошибиться, достаточно обратить внимание на то, о сходствах и различиях *чего* идет речь. По всем этим канонам индукции мы анализируем *все известные нам случаи* проявления предполагаемых причины и следствия на предмет каких-то сходств и различий.

Аналогия устанавливает связь (сходство) между объектами *одного уровня*. Между разными явлениями, или между разными сущностями, или между разными отношениями. Обобщение же устанавливает связь между объектами *разных уровней* – объектом и классом, явлением и сущностью. Рассуждение идет не по схеме «если так у N, возможно, так и у K», а по схеме «если все известные нам случаи N… а все известные нам случаи K… то, вероятно, связь между N и K…».

Если схематизировать рассуждение – становится очевидно, что это не аналогия, а обобщение, переход от анализа явлений к выводу о сущности.

К слову, если в этом рассуждении будут не «все *известные нам* случаи», а «*все случаи*», то рассуждение будет дедуктивным. Крайне желательно убедиться на различных примерах, что учащимися осознана разница между этими видами рассуждения, так как «в реальных условиях» проводить эту границу, если она не в полной мере усвоена на уровне схемы, им будет намного сложнее.

Задание учащимся на дом: читать параграфы 2-й части книги Ф. А. Кузина «Диссертация» – «Особенности научной работы и этика научного труда», «Категории и понятия научной работы», «Научное изучение как основная форма научной работы», «Научное предвидение как вид познавательной деятельности», «Разновидности научного поиска». Быть готовым обсуждать

прочитанное – высказать свои мысли по поводу представленного материала.

ВНИМАНИЕ: необходимо сформулировать именно мысли, а не оценки. Книга не нуждается в оценке учащихся. Нужно рассказать, что показалось неожиданным, а что, напротив, было интуитивно понятно; что, как им кажется, особенно пригодится в той или иной ситуации или пригодилось бы в какой-то ситуации, которая уже произошла в прошлом; относительно чего изменилось представление после прочтения параграфов, что, возможно, вызвало сомнение и нуждается в обсуждении.

Аргумент к авторитету. Нормативная методическая база как источник обоснований

Обоснование через ссылку на определение, соглашение о терминологии или иные конвенции является в какой-то мере условным. Если определение, о котором согласились, будет в дальнейшем оспорено и отклонено, развалится вся система аргументации.

Однако на практике к такого рода обоснованиям все равно прибегают. Как правило, это происходит в одном из двух случаев: если определение (или иное соглашение) уже очень хорошо проверено временем и практикой применения в научных теориях или же для того, чтобы обосновать нечто именно в области действия данного соглашения, за рамками которого рассуждение и выводы по нему не имеют ценности. Проще говоря, если нам нужно доказать свою точку зрения для конкретной ситуации, которая включает в том числе эту конвенцию, а никаких универсальных научных следствий не планируется. Обычно это нужно в случае возникновения спорной ситуации, которая при дискредитации конвенции и сама будет дискредитирована и потеряет актуальность.

Речь идет о ситуациях противоречий в интерпретации требований, предъявляемых к техническому решению, например, Заказчиком и Исполнителем или разработчиком и регулятором и т. д.

Тогда ссылка на терминологические соглашения, определения и положения нормативной методической базы уместна и является безусловно веским основанием (если, конечно, не включена в очевидно ошибочную цепочку умозаключений). И в то же время при упразднении соответствующей конвенции потеряет смысл само разногласие, и, значит, не принесет никакого ущерба то, что утратило вес определение, на котором был построен аргумент.

Нельзя не признать, что аргументация такого рода может только условно называться научной, она может лишь быть построена в соответствии с правилами научного доказательства, иметь «научный вид», но ссылка на утверждение, истинность которого задана нормативно, не имеет прямого отношения к установлению истины и выявлению закономерностей мира.

Но – учение Маркса верно, потому что всесильно.

Желательно в этом смысле помнить одно: если НИР или диплом пишется на основе требований нормативной методической базы, действующей на момент написания работы, то, чтобы результат исследования имел долгую жизнь и хорошее имя, целесообразно использовать эти требования так, чтобы в основе разработанного решения или способа лежали все же научные основания, а удовлетворение положениям нормативных документов было дополнительной (очень важной) особенностью решения.

Рассуждение по аналогии (сходство отношений). На материале лекций по теории образов [Гренандер]

В научной парадигме любой объект изучения принято интерпретировать как систему. Во всяком случае, стараться. Вводная лекция по любому предмету начинается с того, что N (язык, социум, компьютер – любое «то, что мы будем изучать») – это система.

Ну а система, в свою очередь, – это элементы и связи между ними. В дальнейшее изучение предмета из этого тезиса о его системном характере обычно берется довольно мало. Элементы могут быть перечислимы или неперечислимы (закрытая и открытая системы), связи всегда перечислимы. В

большинстве систем связей (разных видов связей, конечно, а не случаев связи) меньше, чем элементов. Изучать (учитывать, проектировать, защищать) надо и одни, и вторые. И даже уже это не вполне очевидная идея – в том смысле, что она не всегда озвучивается при преподавании предмета и еще реже ясно осознается при его изучении. Не так давно на нашей кафедре[2] защищался диплом [15], в котором эта мысль была фактически тем самым, что обеспечило его научную новизну, – тезис о том, что контролю подлежит состояние связей между элементами системы.

В качестве системы рассматривались виртуальные инфраструктуры. Традиционно их защита строится на защите большего или меньшего набора отдельных элементов (виртуальных машин, хостов-гипервизоров и прочих объектов) и на разграничении доступа (пользователей к машинам, администраторов виртуальной инфраструктуры к ее объектам). Связи же между элементами вполне традиционно игнорируются.

Игнорирование связей между объектами может повлечь за собой возникновение угроз безопасности не только в виртуальной инфраструктуре, но на примере виртуальной инфраструктуры это заметно более наглядно. Пусть в виртуальной инфраструктуре существуют 2 сегмента, предназначенные для работы с информацией различного уровня доступа. Первый сегмент для работы с информацией ограниченного доступа включает в себя хост-гипервизор № 1 с работающими на нем виртуальными машинами, второй сегмент предназначен только для работы с общедоступной информацией и состоит из хоста-гипервизора № 2, на котором запущены некоторые виртуальные машины. Если через некоторое время виртуальные машины, работающие на гипервизоре № 1, окажутся включенными на гипервизоре № 2, то возникнет угроза безопасности, связанная со смешением двух различных сегментов, что может повлечь за собой и смешение информации различного уровня доступа. При этом целостность каждого хоста-гипервизора и каждой виртуальной

[2] Кафедра защиты информации ФРТК МФТИ.

машины может быть проверена и подтверждена, система защиты сделает свое дело, но не решит свою задачу.

В дипломной работе предметом исследования была конфигурация виртуальной инфраструктуры как объект контроля целостности и под конфигурацией понималась как раз совокупность объектов с их параметрами, отражающими возможные связи между объектами. Контроль целостности тут подразумевает запрет на заключение «неуставных отношений».

Диплом получил заслуженно высокую оценку, а его автор – поступила в аспирантуру.

Надо заметить, что тема связей между объектами поднимается в защите информации, да и вообще, можно сказать, *в отношении информации*, конечно, не впервые, но поднимается она реже, чем хотелось бы, и почти всегда учеными, как минимум, значительными, что, несомненно, позволяет по аналогии предположить большое будущее и для автора упомянутого исследования.

Так, именно об этом, по сути дела, говорит нам классическое определение Андрея Николаевича Колмогорова, которое уже давно используется как народное, без ссылки на автора: «Информация есть сущность, сохраняющаяся при вычислимом изоморфизме» [16]. Другой акцент примерно на том же ставил Норберт Винер, совершенно безотносительно к защите, но в связи с информационным взаимодействием, делая основной упор на связи, устанавливаемой в естественных и искусственных системах между «входом» и «выходом» (первым и последним звеньями «петли обратной связи», цепочки из причинно связанных элементов). Его главный труд на эту тему – «Кибернетика или управление и связь в животном и машине» [17].

Непосредственно в защите информации – касается связей между элементами введение в число объектов защиты информационной технологии, предложенное когда-то В. А. Конявским [18] и звучавшее для того времени весьма экстравагантно, если не эксцентрично, «трейлер безопасности», наконец, тоже 10 лет назад придуманный Конявским [19, 20] и вдруг стремительно вошедший в моду под именем «блокчейн».

Но так или иначе, когда дело касается описания чего-то с точки зрения того, что это система, о связях все-таки вспоминают.

Однако, как правило, это и все, а дальнейшее понимание или непонимание системности предмета изучения зависит от системности мышления изучающего и очевидности/ неочевидности системности самого предмета (иногда он такой, что просто невозможно игнорировать его внутреннюю сущность – особенно если он легко обозрим, не слишком объемен, а иногда, напротив, если предмет изучения характеризуется большим разнообразием элементов и связей, а особенно – заметно подвержен влиянию среды, то он часто объявляется «живым организмом», будто живой организм – что-то противопоставленное системе).

В то же время четкое понимание системности предмета изучения, понимание границ и структуры этой системы – крайне продуктивно не только для лучшего понимания при изучении, но и при рассуждениях – как дедуктивных, так и индуктивных.

У. Гренандер, а точнее, его книга «Лекции по теории образов» интересна нам в данном контексте именно тем, что это блестящий пример системного описания совершенно конкретной области знаний, дающий за счет этой системности не только глубокое понимание довольно непростого предмета, но и возможность рассуждения по аналогии (в лично моем случае), содержание которого я приведу в качестве примера.

Этот эффект достигается за счет того, что детализируется само устройство системы, вербализируется в явном виде то, что обычно остается интуитивным пониманием ученого, негарантированно отражаясь в сознании того, кто читает его исследование.

Итак, Гренандер формулирует теорию образов, и в начале курса лекций он задает систему понятий. С учетом того, что книга переводная, в терминологии есть некоторый беспорядок, но если постараться, то вполне возможно все это изложить без путаницы в словах (в конце раздела соответствующий фрагмент приведен полностью). Глобальное явление, которое изучается с точки зрения его синтеза и анализа (для решения в конечном итоге задачи распознавания), – это «образ»

(pattern). Это дискретная вещь, и она состоит из «изображений» (image) и, конечно же, связей между ними.

Связи так и называются – связи.

Связи соединяют изображения не случайным образом. У изображений есть образующие. Они являются частью изображения, а не частью связи. Такая «дырка, в которую втыкается» связь. Соответственно, какие (и сколько) у изображения образующих – такие и столько связей у него может быть.

Это обычно не вербализуется и, думаю, не всегда осознается – что связи с элементами закреплены детерминированно, а не случайным или произвольным образом. И что им (связям) соответствуют определенные особенности самого элемента (связь «втыкается» в образующую образа; валентность в химии детерминирована спином и его направленностью (в рамках различных, прошу прощения за семантический каламбур, парадигм есть и разные варианты понимания валентности, но поскольку в данном случае речь идет все же не именно о химии, оставим этот вопрос в стороне), в лингвистике валентностью называют, наоборот, «образующие», некоторый компонент той единицы, которая вступает в связи (в зависимости от того, что в этом разделе единица («изображение», молекула) – в качестве компонента, определяющего способность образовывать связи, будут выступать признаки разных типов – у фонем один, у морфем другой, а у лексем третий, но по сути – насколько мне позволяет судить общий фон знаний – эти признаки есть у всех единиц (это не введено и не закреплено, я ориентируюсь именно на системность собственного восприятия), связи, в которые могут вступать языковые единицы любого уровня языка, не произвольны). Очевидно, что то же самое можно наблюдать у электронного документа (ЭлД), потому что различные виды ЭлД имеют разные наборы атрибутов (об этом подробно в книге В. А. Конявского и В. А. Гадасина «Основы понимания феномена электронного обмена информацией» [21. С. 116–121]), и эти наборы тоже не случайны, они предсказуемы. Это вообще естественно для любого предмета, который возможно описать: у всего есть набор *признаков*, и только по этим признакам могут быть определены *значения*

(нельзя сказать, сколько весит то, у чего нет признака «вес», и, наоборот, то, у чего есть признак «вес», обязательно сколько-то весит, этот факт детерминирован наличием этого типа признака у этого типа объекта), было бы странно, если бы со связями было принципиально иначе.

Разумеется, этим потенциал аналогии данной теории не исчерпывается, иначе не стоило бы погружаться в такие специфические вещи.

«Образующие» могут быть абстрактными и конкретными (например, абстрактная образующая «цвет» и конкретная – «красный»). Конкретные образующие связаны *со средой*. Несколько упрощая, они от нее зависят.

Эта детализация прекрасно ложится на все выше установленные аналогии, включая тот же ЭлД. Одно и то же содержание ЭлД для разных секторов действенности повлечет разные «конкретные образующие» – у ЭлД будут разные типы атрибутов, хотя на уровне абстрактных образующих они будут одинаковыми – направленными на решение одной и той же задачи во всех секторах действенности.

Если взять защиту информации, вспомним классическую зависимость от среды – правильная программа может давать неправильные результаты в неправильной среде.

Все эти аналогии, которые я до сих пор проводила, иллюстрируют процесс «*понимания* по аналогии». Когда мы можем найти «то же самое» на другом, более знакомом материале, нам становится легче понять материал, ранее не знакомый, такой, каким является для меня материал теории образов.

А вот дальше я покажу небольшой отрезок пути собственно «*рассуждения* по аналогии» на основе усвоенного таким способом нового.

Что я для себя извлекаю методически нового (то есть ранее либо не зафиксированного, либо зафиксированного только интуитивно):

1) валентность (спин, образующая, атрибут) – то, что детерминирует связь, – *часть соответствующего элемента*, а не дополнительный к нему элемент или признак. Именно ЧАСТЬ. Это важно и требует осмысления следствий;

2) связи жестко закреплены за элементами, заключение недекларированных связей *невозможно*;

3) то, что выше по тексту не озвучено, так как не пришлось к слову, но самое интересное: *образ недискретен* и должен рассматриваться только так. Если есть иерархия, когда паттерн является образом для другого паттерна, то как образ он недискретен. Это звучит предельно логично, но фактически, мне кажется, часто упускается и разные уровни дискретности часто смешиваются.

Получается примерно следующая картина: от среды не зависит image, но зависит pattern, причем зависимость эта – влияние среды – возникает (или, точнее, *проявляется*) тогда, *когда абстрактная образующая проявляется в конкретную*. То есть в момент перехода от «цвет» к «не красный», от «на ощупь» к «гладкий». Иными словами, *на этапе возникновения собственно системы* (образа из изображений).

Интересны здесь два взаимосвязанных момента:

1) образующая, в том числе и конкретная, – часть все же изображения (image);

2) и абстрактная, и конкретная образующие – часть *одного и того же изображения*, причем оно недискретно и не зависит от среды, а зависит от среды – образ (pattern).

Это на первый взгляд кажется просто конгломератом противоречий. Однако это прекрасно коррелирует с лингвистическими единицами – они все имеют характер сущности (то есть являются парадигмой явлений). Допустим, фонема <о> может проявляться в звуках [о], [а], [э], [ъ], [ь] – в зависимости от того, в какой она позиции (ударная/безударная, открытая/закрытая, прикрытая/начальная, после мягкого/ твердого согласного и т. д., то есть в зависимости от окружения, *от среды*).

При этом фонема остается одной и той же, она недискретна, и на нее среда решительно никак не влияет – фонема <о> в любой среде – только фонема <о>, и ничто иное. А вот фонетическое слово, в которое объединяются фонемы, создавая связи и среду одна для другой, весьма зависит от среды, сформированной, еще раз отмечу, как раз самими фонемами, из которых оно состоит, и их взаимным расположением.

Такая же ситуация с морфемами и лексемами. Морфемы состоят – или более точно – могут быть разложены на фонемы. Однако с точки зрения возможных связей и возможных вариантов проявления под влиянием среды – они недискретны. Лексема – это также парадигма словоформ, и лексема не зависит от окружения, а вот выбор конкретной словоформы окружением детерменирован (падеж, число, время, лицо – мы не свободны в выборе, он обусловлен). И от всего этого зависит сложенное из лексем и их связей предложение. То же мы увидим, когда перейдем на уровень текста, а затем – на уровень документа.

Видимо, то же самое – парадигму – представляют собой и образы Гренандера.

То же самое выясняется и про упоминавшиеся выше конфигурации виртуальной инфраструктуры, там характер парадигмы носят как конфигурации, являющиеся объектом контроля, так и эталон, с которым они сравниваются при процедуре контроля целостности, – они тоже представляют собой парадигму, *перечислимый набор состояний*.

Виртуальная инфраструктура – это динамическая система в том смысле, что некоторые ее связи, параметры могут быть изменены и при этом состояние системы останется корректным. В то же время контроль целостности, казалось бы, предполагает сравнение текущего состояния системы с некоторым его выбранным, фиксированным состоянием, принятым за эталон.

Если рассматривать эталонную конфигурацию виртуальной инфраструктуры в традиционном понимании, то есть как некоторый «снимок» конкретного состояния системы, то мы столкнемся с тем, что выбор такого эталона зачастую невозможен – например, одним «снимком» нельзя охватить возможность включения виртуальных машин на нескольких хостах, возможность миграции виртуальных машин между хранилищами и вообще любое изменение параметров в некотором диапазоне.

Поэтому эталоном должен быть не один «снимок» текущего состояния системы, а некоторая парадигма состояний, каждое из которых определяется набором условий и в них является корректным.

Будет ли корректным текущее состояние системы (виртуальной инфраструктуры), ее текущая конфигурация,

зависит от того, соответствует ли оно *какому-то из проявлений эталонной парадигмы*, то есть набору элементов, их связей и условий внешней среды (например, времени дня в сочетании с днем недели, нагрузкой на хосты и тому подобными обстоятельствами, влияющими на то, какое из допустимых состояний система примет фактически).

Так на самых разных предметных областях мы получаем очень наглядное подтверждение положения о том, что система – это не только элементы и связи, *но и среда*.

И все это приводит меня к постановке следующего общетеоретического вопроса: каким образом следует проводить границу между феноменом среды существования системы и взаимовлиянием ее элементов? Казалось бы, все, что влияет на объект, – автоматически его среда, так как не объект.

И получается, что все – среда для всего. Это плохо, так как слишком нестрого и совершенно непродуктивно.

Вспоминая, что элементы от среды не зависят – от среды зависит только *выбор одного из набора состояний элемента* (и, соответственно, система), получаем ответ, полностью очевидный на интуитивном уровне (чего, как мы знаем, недостаточно для того, чтобы считать тезис доказанным): среда – это то, что *снаружи системы*, но при этом не вообще все, а то, что способно на систему повлиять. А то, что внутри, или то, что снаружи, но повлиять не способно, – не среда.

Этот вывод не просто любопытен как некоторое интеллектуальное упражнение. Он имеет совершенно прикладные следствия. Например, с точки зрения проектирования системы защиты информации он страшно полезен для введения в разумное русло рассуждений о том, что является, а что *не является* средой исполнения (является средой только то, что влияет объект, который исполняется, но не является при этом его частью).

И получен он из методически точно описанного на конкретном примере (теории образов) понимания сущности системы: система – это не элементы и связи, а элементы и связи в некоторой среде.

Для того чтобы учащиеся могли проверить релевантность интерпретации источнику, целесообразно дать для самостоятельного изучения фрагмент из книги Гренандера, на материале которого и построено изложенное рассуждение.

Гренандер У. Лекции по теории образов.
Т. I: Синтез образов. С. 9–24.

Введение

В данном томе предпринимается математическое изучение регулярных структур.

В 1966 г. на научной конференции в Лутраки, Греция, автор высказал предположение, что можно создать общую теорию образов, опираясь на ряд основополагающих концепций, которые были кратко охарактеризованы и проиллюстрированы несколькими простыми примерами. Предложение было представлено в виде исследовательской программы, реализация которой в то время только начиналась.

Ныне, девять лет спустя, значительная часть программы выполнена автором и его коллегами по Отделению прикладной математики Университета Брауна. Ее результаты будут представлены в серии книг, состоящих из нескольких томов, и данная книга является первым томом.

Второй том должен появиться вскоре после первого. Значительная часть работы, которой он посвящен, уже завершена, однако только часть фактически написана. В не столь отдаленном будущем третий, более обширный, том даст систематическое изложение теории. Предварительный вариант оглавления этого тома приведен в приложении. Предполагается, что этот том будет состоять из четырех частей, включающих двадцать глав. Данный том соответствует содержанию части II, гл. 3–6.

Чтобы избежать недоразумений, следует с самого начала подчеркнуть, что в этой книге не делается акцент на распознавание образов. Наша цель состоит не в том, чтобы выяснить, как образы распознаются в природе или как их следует распознавать с помощью алгоритмов и машин.

Вместо этого объектом нашего изучения будут образы как таковые, рассматриваемые в рамках точного формализма, который будет использоваться в качестве концептуальной основы для синтеза и анализа образов, помогая нам лучше понять, как образы строятся и обрабатываются. В следующем томе этот аппарат будет использоваться систематически для описания, аппроксимации, восстановления и, в конечном счете, также и распознавания образов.

Как и в работе У. Гренандера (1967), входными являются следующие четыре принципа. Теория будет атомистической: образы строятся из простых стандартных блоков – знаков или образующих. Это наши неделимые элементы или атомы, и в каждом конкретном случае они будут выбираться как можно более простыми. В качестве таких элементов могут выступать абстрактные символы, множества, отношения или функции, и в следующих главах читатель встретит большое разнообразие типов образующих.

Задав образующие, мы будем настаивать на введении определенных правил, ограничивающих способы их соединения между собой. Эти правила приводят к типичным регулярностям образов и представляют их комбинаторную структуру.

Получаемые в результате регулярные конфигурации являются абстрактными конструкциями, не обязательно наблюдаемыми во всех деталях. В какой степени регулярные конфигурации могут быть идентифицированы наблюдателем – зависит от системы наблюдения. Результаты наблюдения, соответствующие некоторому множеству регулярных конфигураций, называются изображением[3].

[3] При переводе монографии Гренандера для передачи на русском языке понятия «image» выбран термин «изображение». На самом деле здесь имеется в виду, пользуясь языком автора, «класс эквивалентности I на

Основным предметом нашего исследования является множество изображений вместе с существующими между ними отношениями: алгебра изображений.

Изображение соответствует результатам наблюдения при идеальных условиях, если на наблюдения не оказывают влияния ограничения, свойственные используемой аппаратуре, и несовершенство модели. Теория образов, не учитывающая поведение образов в реальных условиях, будет иметь очень ограниченные приложения. Мы должны, следовательно, обеспечить реалистичность теории с тем, чтобы она могла оперировать реальными образами. Другими словами, нам следует рассмотреть процесс преобразования «чистых» образов в реальные с помощью некоторого механизма деформации.

Мы будем изучать образы в общем виде – образы образов, однако обсуждение будет сделано как можно более конкретным при помощи соответствующих примеров. В качестве иллюстраций к примерам мы будем пользоваться диаграммами конфигураций, прибегая к ним на протяжении всей книги. Наш подход отнюдь не является по своей природе геометрическим; образы с тем же успехом могут быть логическими, включать последовательности или

множестве правильных конфигураций $\mathcal{C}$ (R) в смысле правила идентификации *R*», т. е. формальное описание объекта распознавания или, короче, формальный объект. Такое описание соответствует наблюдениям в идеальных условиях; оно может быть точным настолько, насколько хорошо исследователь или «заказчик» знают свой объект. Следовательно, речь идет о потенциально достижимом описании объекта. «Изображение» в данном смысле не следует смешивать с употреблением этого термина, общепринятым в теории распознавания образов.

Термин «pattern» имеет у автора более общий смысл – он означает закономерность, явление, т. е. некоторое обобщение понятия «образ». Ближе всего к нему по смыслу находится понятие «класс образов». – *Прим. ред.*

представлять поведение. У Бома (1969) читатель может найти интересные рассуждения о необходимости создания формальной теории образов, но с несколько иных позиций.

В части I более полной книги, которая появится позже (см. приложение), будет подробнее показано, как изучение образов, возникающих в науке и технике, искусстве и гуманитарных науках, заставило нас настаивать на необходимости четырех вышеупомянутых руководящих принципов, определяющих наш подход как атомистический, комбинаторный, учитывающий наблюдаемость и реалистический. Некоторую информацию по этому вопросу можно найти в работах Гренандера (1969), (1970).

В данном томе (соответствующем части II оглавления, приведенного в приложении) мы будем изучать, как из образующих при помощи комбинирования, идентификации и деформации формируются образы, т. е. мы будем рассматривать синтез образов. Большая часть тома посвящена анализу концепций и изучению логической структуры используемого нами формализма образов.

Следующий том будет посвящен обратной задаче – анализу образов. Там мы приступим к делу с противоположного конца – исходя из наблюдаемых реальных образов мы попытаемся описывать и анализировать их. На этом этапе характер обсуждения меняется, и оно становится более математическим и скорее «вычислительным», чем концептуальным, причем больше внимания уделяется эмпирическим результатам.

Читатель обнаружит, что в своей работе мы пытались использовать параллельно численные эксперименты и математический анализ. Часто мы предпринимали численное исследование для того, чтобы приобрести новое понимание на интуитивном уровне. Когда такой процесс приводил к

возникновению какого-либо предположения, мы пробовали доказать справедливость этого предположения аналитически.

По мере продвижения нашей работы этот способ использования вычислительной машины для проведения математических экспериментов последовательно приобретал все большее значение. Было бы очень трудно, если не сказать – невозможно, обойтись без него. Значительная часть вычислений была выполнена в диалоговом режиме, на языке программирования АПЛ, с применением различных устройств машинной графики. Трудно в этом смысле переоценить роль эффективной диалоговой вычислительной системы.

При доказательствах мы иногда опускали некоторые моменты, связанные с теорией меры, и некоторые другие обстоятельства, когда это не приводило к значительной потере строгости. Иногда, однако, эти пропуски носят серьезный характер. В подобных случаях это указывается в явном виде, как, например, в разд. 2.10 и 3.6. Мы надеемся, что в будущем сможем устранить эти пробелы.

Из названия нашей книги очевидно, что мы будем изучать теоретические аспекты образов, и в первом томе приложения будут играть второстепенную роль. Будет ясно, однако, что основные побудительные мотивы этого исследования порождены различными областями: геоморфологией, анатомией, нейрофизиологией, спектрографией, антропологией и многими другими. Это влияние было доминирующим в развитии нашей теории. <…>

Глава 1

Образующие

1.1. Образующие и их свойства

Непроизводные объекты, используемые для построения конфигураций и изображений, назовем образующими. Множество образующих будем обозначать через G, символом для отдельного первичного элемента будет служить g, $g \in G$.

Образующие представляют собой элементы – носители информации, и так как они имеют значение неких первичных высказываний, то иногда мы будем называть их знаками.

Множество всех образующих G состоит из непересекающихся классов образующих $G^{\propto}$, $G^{\propto} \subset G$, где $\propto$ – общий индекс, индекс класса образующих,

$$G = \bigcup_{\alpha} G^{\propto}, G^{\propto} - \text{непересекающиеся классы.} \qquad (1.1.1)$$

Интерпретация этого разбиения состоит в том, что образующие, сходные качественно, будут относиться к одному классу (см. разд. 3.2).

Образующие – это простейшие объекты, некоторые стандартные блоки. Они могут обладать определенными свойствами, и если они ими действительно обладают, то свойства эти могут быть двух типов.

Первый тип свойств – это признаки. Образующей ставится в соответствие признак $a = a(g)$, причем в качестве значений признака a могут выступать целые числа, действительные числа, векторы и так далее. Одной из составляющих признака служит индекс класса образующей a, однако обычно он располагает и другими составляющими, представляющими более специфическую информацию.

Второй тип свойств охватывает связи[4]. Определенной образующей g соответствует определенная арность $\omega(g)$, которая выражается неотрицательным целым числом или бесконечностью. Величина арности указывает максимальное число соединений, связывающих данную образующую с остальными. Реализация подобных соединений – предмет обсуждения гл. 4.

Величина арности представляет собой сумму *входной арности* $\omega_{in}(g)$ и *выходной арности* $\omega_{out}(g)$:

$$\omega(g)= \omega_{in}(g) + \omega_{out}(g). \qquad (1.1.2)$$

Эти показатели характеризуют максимальное число соединений, входящих в образующую и выходящих из нее соответственно.

Каждому подобному (потенциально возможному) соединению соответствует показатель связи, обозначаемый обычно символом β с соответствующим нижним индексом. Как мы убедимся в следующих разделах, характер показателей связи β существенно изменяется в зависимости от того, на какую прикладную область мы в каждом конкретном случае ориентируемся.

Множество связей всякой образующей g, соответствующим образом перенумерованное, образует структуру связей образующей. Структура связей не определяет значения показателей, поставленных в соответствие отдельным связям.

В дополнение к свойствам образующих необходим также идентификатор или имя для того, чтобы иметь возможность различать используемые образующие.

[4] В оригинале bonds. В данном случае термин «связи» означает лишь входные и выходные узлы для возможных соединений (connections) между образующими. – *Прим. ред.*

Сделаем оговорку относительно равенства образующих. Может потребоваться, чтобы некоторая образующая входила в одну и ту же конфигурацию более одного раза. В таком случае берутся идентичные копии этой образующей, которые различаются при помощи идентифицирующих меток, вводимых в признак в качестве составляющих. Из контекста будет ясно, когда это делается.

Мы будем пользоваться графическим формализмом, таким, как на рис. 1.1.1, для того, чтобы дать интуитивное представление о свойствах образующих. На этом рисунке входная арность равна 2, соответствующие показатели связей – β_1 и β_2 и выходная арность – 3, соответствующие показатели связей – β_3, β_4 и β_5, так что общая арность равна 5.

Это графическое представление не следует рассматривать как образующую, окруженную своими связями, – связи являются частью собственно образующей.

При решении большинства прикладных задач мы будем иметь дело с некоторыми отображениями множества образующих G в себя, которые не будут существенно влиять на информацию, содержащуюся в образующих. Эти отображения представляют собой преобразования подобия и должны удовлетворять следующему определению.

Определение 1.1.1. Будем считать, что множество S отображений $s: G \to G$ образует множество преобразований подобия, если:

(i) множество S является полугруппой с единицей относительно композиции преобразований;

(ii) любое $s \in S$ отображает G^a в себя при любом индексе класса образующих a;

(iii) множество S не влияет на связи (но может влиять на показатели связей).

Отметим, что показатели связей преобразованной образующей *sg* могут отличаться от показателей связей исходной образующей *g*.

Мы считаем образующие атомами, неделимыми объектами, однако, подобно тому как атомы обладают внутренней структурой и могут расщепляться на элементарные частицы, образующие в свою очередь иногда допускают разбиение на более мелкие единицы. В самом деле, ниже (гл. 3) мы убедимся в том, что иногда будет вполне естественно объекты, являющиеся на некотором уровне формального описания изображениями, считать образующими в формализме более высокого уровня. Независимо от того, работаем ли мы с подобной иерархической структурой или нет, на любом уровне образующая будет рассматриваться как непроизводный элемент.

Определить образующую можно двумя способами. Простейший – и наименее интересный – задание образующей в абстрактном виде, безо всякого учета среды, в которой она (быть может) действует. В этом случае образующая просто обозначается неким отвлеченным символом. Противоположный случай, с которым мы будем часто сталкиваться, – определение образующих на некоторой среде – носителе информации. В этом случае образующая имеет конкретную интерпретацию. Ничто не препятствует нам использовать в одном и том же формальном описании образа и абстрактные, и конкретные образующие (см., например, случай 3.4.3), хотя возникать такая ситуация будет редко.

Иногда мы будем использовать образующую, обозначаемую через *ε*, обладающую специальными свойствами и называемую нулевой образующей. При этом будет допускаться принадлежность нулевой образующей *ε* ко

всем классам, так что эти классы уже не будут непересекающимися в строгом смысле слова.

Мы намерены рассмотреть множество образующих самых различных видов. Для того чтобы дать читателю представление о некоторых возможностях в этом отношении, в следующих двух разделах мы приведем несколько примеров, не определяя, однако, связи, поскольку последнее более естественно делается в гл. 2 при обсуждении способов соединения образующих в конфигурации. Поэтому описание образующих, представленное в разд. 1.2 и 1.3, не является исчерпывающим.

Рассмотрим отображение $h: G \rightarrow G'$, где G и G' – два множества образующих, связанные с одной и той же полугруппой преобразований подобия S. Будем называть отображение h инвариантом связей, если для любой образующей $g \in G'$ образующие g и $g' = h(g)$ имеют одни и те же связи и показатели связей и $sg \rightarrow sg'$ для всех s и g.

С помощью такого отображения можно заменять образующие элементы множества G образующими множества G', не нарушая комбинаторную структуру.

1.2. Абстрактные образующие

В примерах данного раздела образующие задаются абстрактно, без каких-либо указаний о характере среды, в которой они могут интерпретироваться.

Случай 1.2.1 (свойства). Множество образующих представляет собой список символов, например заглавных букв:

$$G = \{A, B, C, D, \ldots\}, \qquad (1.2.1)$$

где $g = A$ является высказыванием, означающим, что некоторое свойство A применимо для описания заданной ситуации.

Скажем A – «красный», B – «голубой», C – «большой», D – «не голубой» и т. д. преобразования подобия строятся на основе операций тождества и отрицания, применяемых к любой образующей. Выделение классов образующих приводит к отнесению свойств, характеризующих цвет, в один класс, размер в другой и т. д.

В качестве еще одного примера множества образующих можно привести множество $G = \{♂, ♀\}$, которое присутствует в образах, характеризующих происхождение и встречающихся, в частности, в популяционной генетике. В последнем случае признаки выражают генетические характеристики, представляемые образующими.

Случай 1.2.2 (код Морзе). В данном случае $G = G^1 \cup G^2$, где

$$G^1 = \{\text{точка, тире}\},$$
$$G^2 = \{\text{короткая пауза, пауза после буквы, пауза после слова}\}. \quad (1.2.2)$$

Признак a определяется как

$$a\,(\text{точка}) = 1,$$
$$a\,(\text{тире}) = 3,$$
$$a\,(\text{короткая пауза}) = 1, \quad (1.2.3)$$
$$a\,(\text{пауза после буквы}) = 3,$$
$$a\,(\text{пауза после слова}) = 5.$$

Это одна из систем, определяющих код Морзе. Значение этого признака, несомненно, выражает продолжительность образующей (в некоторых единицах измерения времени), однако в данном разделе мы рассматриваем образующие лишь как символы, не придавая им никакого физического смысла. Сигналам и паузам соответствуют два класса образующих. Преобразования подобия будут введены впервые, когда будет установлена интерпретация для данного случая.

Случай 1.2.3 (химические элементы). В этом случае множество образующих может иметь вид

$$G = \{H, He, Li, Be, B, ...\} \quad (1.2.4)$$

и одна из функций признаков, атомный вес, будет принимать следующие значения:

$$\begin{aligned} &a\,(H) = 1{,}00 \\ &a\,(He) = 4{,}00 \\ &a\,(Li) = 6{,}94 \\ &a\,(Be) = 9{,}01 \\ &a\,(B) = 10{,}8 \\ &\ldots \end{aligned} \quad (1.2.5)$$

Случай 1.2.4 (формальный язык). Рассмотрим простой пример:

$$G = G^1 \cup G^2, \quad (1.2.6)$$

где G^1 – конечный список символов (представляющих булевы переменные) и

$$G^2 = \{\Lambda, V, \tilde{}), (\}. \quad (1.2.7)$$

Этот пример иллюстрирует важность оснащения образующих связями. Если ограничиться при определении образующих только выражениями (1.2.6) и (1.2.7), то окажется невозможным присоединить к ним связи и сформировать полезные конфигурации. При введении связей следует провести более тонкое разбиение множества образующих G, но об этом речь пойдет в разд. 2.6.

Случай 1.2.5 (естественный язык). Множество образующих задается словарем, классами служат классы слов, а признаками могут являться число, род, падеж и тому подобные категории с соответствующими диапазонами изменения. К этому способу задания образующих можно

предъявить те же претензии, что высказывались в связи с предыдущим случаем.

1.3. Конкретные образующие

Нам не очень часто придется иметь дело с абстрактными образующими. Обычной является ситуация, когда образующая определена применительно к некоторой среде X. Опорное пространство, X, может быть практически любым: прямая, многомерное евклидово пространство, гильбертово пространство или подмножество любого из этих пространств.

В опорном пространстве можно задать определенные преобразования $X \to X$, которые можно использовать для определения инвариантных свойств образов. Они должны образовывать полугруппу с единицей и индуцировать на множестве образующих G отображения, которые будут рассматриваться как преобразования подобия. Для обозначения обоих отображений $X \to X$ и $G \to G$ удобно использовать одни и те же символы s и S.

Определение 1.3.1. Если образующие являются элементами опорного пространства X, то они называются точечными образующими.

Случай 1.3.1 (числовые признаки). Пусть $X = R$ и образующая состоит из идентификатора и значения в R; s-преобразования заключаются в изменениях масштаба $x \to kx$, $k > 0$.

В качестве идентификаторов можно использовать длину, ширину, частоту и тому подобное. Следует отметить, что преобразование подобия s может затронуть только один класс

образующих и оставить остальные образующие без изменений, причем значения k могут быть разными для разных классов.

Аналогичным образом может возникнуть необходимость определить S как прямое произведение различных S^a, соответствующих различным индексам классов образующих a. Для числовых признаков, не имеющих наиболее предпочтительной точки отсчета, как, например, при измерении местоположения, в качестве S^a может быть принята группа переносов. Для других случаев с приоритетными точками отсчета, например при измерениях размера, вышеупомянутые изменения масштаба могут образовать естественное множество S^a.

Весьма близок описанному случай 1.3.2. Логические признаки: опорное пространство $B = \{0,1\}$, образующая имеет идентификатор и принимает значения 0 или 1. Преобразования подобия включают тождество и операцию $x \to 1 - x$.

Определение 1.3.2. Если образующие являются подмножествами опорного пространства X, то они называются образующими-множествами.

В этом случае преобразования подобия очевидным образом расширяются от X к G посредством поточечного применения.

Случай 1.3.3 (выпуклые множества). Пусть $X = R^l$ и G – семейство всех выпуклых множеств в пространстве R^l и $S=EG(l)$ – евклидова группа в l-мерном пространстве.

Как мы убедимся ниже, такие образующие естественно относить ко второму уровню иерархии, а образующими первого уровня служат полуплоскости (см. разд. 3.5).

Случай 1.3.4 (сферы). Пусть $X = R^3$ и G^a состоит из сфер с произвольным центром (x_1, x_2, x_3) и радиусом r^a, причем всякий $r^a > 0$. Преобразования подобия заключаются в применении $EG(3)$ к сфере (x_1, x_2, x_3).

Случай 1.3.5 (планиметрия). В данном случае $X = R^2$ и

$G^{(1)}$ включает все точки;

$G^{(2)}$ включает все прямые, лучи, отрезки прямых; (1.3.1)

$G^{(3)}$ включает все окружности и дуги окружностей;

S включает EG (2) и равномерные изменения масштаба.

Случай 1.3.6 (признаки). Рассмотрим опорное пространство X и семейство F – ложный, T – истинный. Подмножество вида

$$g^f = \{x \mid f(x) = T\} \qquad (1.3.2)$$

называется образующей-признаком. Полагаем, что S состоит только из тождества и дополнения. Характер $\mathcal{F}$ будет, естественно, зависеть от приложений и изменяться от одного случая к другому.

Случай 1.3.7 (мозаики). Пусть $X = R^2$. Рассмотрим его разбиение на множества g, такие, что все g конгруэнтны по модулю заданной дискретной группы переноса. Эта группа выполняет роль S.

Соответствующий пример приведен на рис. 1.3.1, где группа переносов образована переносами $(x_1, x_2) \rightarrow (x_1 + k_1 + 2k_2, x_2 + 2k_2)$, k_1 и k_2 – целые числа. Образующими являются изображенные на этом рисунке параллелограммы.

Случай 1.3.8 (объекты, находящиеся в некоторой внешней среде). Рассмотрим в R^3 множество объектов g. Эти объекты задаются при помощи указания их формы, местонахождения и ориентации. Некоторые формы составляют класс образующих. В качестве других признаков могут рассматриваться цвет, запах, текстура. Естественными преобразованиями подобия снова являются преобразования, составляющие $EG(3)$.

Случай 1.3.9 (дуги). Пусть G – совокупность аналитических дуг в $X = R^2$ и $S = EG(2)$. Каждая дуга описывается уравнением $\rho = \rho(l)$, где ρ – кривизна, а l – длина дуги. Множество аналитических функций $\{\rho^a\}$ задано, и дуга $g \in G^a$, если имеется ее уравнение $\rho = \rho^a(l)$ на некотором отрезке l. Общая длина дуги является еще одним признаком образующей такого типа.

Случай 1.3.10 (стрелки). Пусть g – упорядоченная пара (x_1, x_2) в некотором топологическом пространстве X, рассматриваемая как стрелка, проведенная из x_1 в x_2. Пусть S состоит из топологических отображений X на себя и расширенное определение s имеет вид $(x_1, x_2) \to (s(x_1), s(x_2))$.

Очевидно, что точечные образующие являются частным случаем образующих-множеств, если точку в X отождествить с подмножеством, содержащим только эту точку.

Теперь мы переходим к рассмотрению того типа образующих, который встречается чаще всего.

Определение 1.3.3. Пусть образующие состоят из отображений опорного пространства X в сопоставленное пространство Y. В этом случае мы говорим об образующих-соответствиях или образующих-функциях.

В частности, мы будем говорить о линейных (часто временных), плоскостных или пространственных образующих в тех случаях, когда X является действительной прямой, плоскостью или трехмерным евклидовым пространством соответственно.

Если g – отображение $y = g(x)$ и S – группа преобразований подобия, мы будем определять sg с помощью отображения $y = g(s^{-1}x)$.

Если образующая-соответствие $g = g(x)$ определена только на подмножестве $E \subset X$, то мы будем определять sg, имея в виду сужение функции $g(s^{-1}x)$ на множество sE.

Случай 1.3.11 (уровень зачерненности). Если Y – положительная действительная прямая или ее подмножество, то образующие-соответствия можно рассматривать как полутоновые изображения.

Случай 1.3.12 (цветные изображения). Если Y – положительный октант R^3, то соответствующие образующие-соответствия можно рассматривать как трехцветные изображения, причем каждая координата указывает интенсивность красного, зеленого и синего цветов соответственно.

Случай 1.3.13 (ортогональные образующие). Пусть $Y = R^1$ и μ – мера на X. Мы говорим об ортогональных образующих, где $G = \{g_1, g_2, \ldots\}$, где g_v – ортогональные относительно μ функции в геометрии $L_2(\mu)$.

Случай 1.3.14 (сигналы). Пусть X и Y – действительные прямые и G – заданное множество действительных функций на X, удовлетворяющих условию $L^a g = 0$, где L^a – заданный

линейный дифференциальный оператор, который не содержит x при всех значениях индекса образующей a. S – группа переносов X.

Модификация последнего случая приводит к появлению нового элемента, который, как мы увидим, играет решающую роль при синтезе конфигураций.

Случай 1.3.15 (суженный класс сигналов). То же самое, что и в предыдущем случае, за исключением того, что рассматривается сужение решения $L^a g = 0$ на некоторый интервал $[a, b]$. Этот интервал не фиксируется и может изменяться в соответствии с характером образующей, так что значения a и b являются признаками g.

Более общим вариантом случая 1.3.15 является многомерный случай 1.3.16 (суженный класс образующих-соответствий). Пусть в опорном пространстве $X = R^k$ непрерывные действительные функции g определены на замкнутых подмножествах, принадлежащих к семейству множеств, замкнутому относительно переносов в X. Эти переносы образуют также группу подобия на G.

Теперь мы обратимся к более специальному случаю, который также будет расширен и обобщен.

Случай 1.3.17 (арифметические операторы). Пусть $X = Y$ – действительная прямая и всякая g – функция, определенная на некотором подмножестве $X_g \subseteq X$ и принимающая значения из некоторого подмножества $Y_g \subseteq Y$.

Как и прежде, мы считаем, что X_g и Y_g являются частями образующей.

В качестве более общего многомерного аналога вводим в рассмотрение

Случай 1.3.18 (универсальные операторы). Всякая образующая есть оператор с v (переменными) входами x_1, x_2, ..., x_v и μ (переменными) выходами y_1, y_2, …, y_μ. Область значений всякого x, есть некоторое пространство X_i, область значений всякого y_i – некоторое пространство Y_j. В частности, существуют операторы назначения, не имеющие входов (однако обычно обладающие некоторыми признаками). Преобразования подобия воздействуют только на операторы назначения, оставляя все остальные образующие без изменения. В результате реализации этих преобразований признаки оператора назначения обычно изменяются, однако мы потребуем, чтобы a изменялся, а области X и Y – не увеличивались.

Мы будем снова и снова обращаться к этому случаю в связи с его исключительной пластичностью. Отметим его следующий частный вариант.

Случай 1.3.19 (операторы со случайными переменными). Этот случай полностью соответствует случаю 1.3.18, за исключением того, что X_i и Y_j определены как множества случайных переменных.

Позже нам встретится еще один частный случай:

Случай 1.3.20 (проекции). Пусть $X = Y$ – сепарабельное действительное гильбертово пространство H, и пусть образующие являются кратными операторов проектирования P, $g = kP$, $k \in R$, где P, появляющиеся в двух образующих, либо равны, либо ортогональны. Полугруппа преобразований подобия формируется из умножений на (действительные) скалярные величины. Классы образующих определяются в терминах пропорциональности P.

Образующие-множества являются частными случаями образующих-функций, если подмножества определяются в терминах своих индикаторных функций.

Эти три типа образующих не исчерпывают всех возможных случаев, которые мы будем изучать. Отметим только один дополнительный пример, который будет представлять для нас интерес.

Случай 1.3.21 (меры в качестве образующих). Рассмотрим в топологическом векторном пространстве X некоторую σ-алгебру $\mathcal{A}$ борелевских подмножеств X и совокупность G мер, определенных на $\mathcal{A}$. Пусть S – множество операций на мере g, индуцированное переносами X.

Пусть G состоит из образующих-соответствий, т. е. g – функция, определенная на некотором подмножестве X^g опорного пространства X, и пусть в данном случае S – группа. Естественно, семейство $\mathcal{F}(G)$ областей X^g должно быть замкнуто относительно S. Пусть B является S-инвариантным подмножеством X, пусть связи определяются через X^g и показатели связей g могут быть однозначно определены при известных значениях $g = g(x)$ для $x \in X^g \cap B$. Другими словами, если две образующие имеют одну и ту же область определения, то их показатели связей одинаковы, когда обе функции совпадают на тех точках B, где они определены.

Определим теперь новое множество G' образующих, введя S-инвариантное подмножество $X_0 \subset X$, $B \subset X_0$, и положив, что новые образующие g' есть функции, определяемые на подмножествах X_0. Точнее, для всякого $g \in G$ мы определяем новую образующую g' как сужение g на $X^g \cap X_0$, причем структура связей остается прежней.

Если и g_1, и g_2 отображаются в $g' \in G'$, то мы должны получить $X^{g_1} \cap X_0 = X^{g_2} \cap X_0$, откуда следует $X^{g_1} \cap B = X^{g_2} \cap B$.

Итак, g_1 и g_2 обладают не только одними и теми же связями, но и одинаковыми показателями связей. Из построения $(sg_1)'$ и $(sg_2)'$ следует, что они обладают одинаковой структурой связей, и так как, будучи функциями, определенными на X_0, они равны, то они представляют один и тот же элемент в G'. Следовательно, sg' однозначно определено и s оставляет неизменными связи в G: S, как определено в G', является однозначно определенной и представляет собой вполне дозволенную группу преобразований подобия.

Отсюда следует, что отображение $G \rightarrow G'$ сохраняет структуру связей и $(sg)' = sg'$, т. е. это отображение является инвариантом связей.

В последующих главах частные случаи этой конструкции будут встречаться нам в различных формах. <...>

ТЕМА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Согласно Ленинской теории отражения[1], мышление связано со словом прямо и неразрывно. Человек думает словами, и, если он «не может подобрать слова», он не думает. К этому относиться можно совершенно по-разному, но определения – это как раз та область человеческой деятельности, в которой разногласия о значимости слов неуместны.

Да, как уже становится традиционным для данного курса, определение – это тоже и деятельность, и ее результат.

К предметной области научных исследований относится определение терминов и понятий.

Однако принципиально процесс определения понятия не отличается от процесса определения чего-либо еще в самом обычном бытовом смысле. Мы определяем, «что это там вдали», какая погода за окном и свежая ли рыба, принципиально так же, как определяем понятие. Только процесс научного определения при этом должен соответствовать уже известным нам критериям научности.

С процессом определения мы сталкивались в курсе прикладной риторики[2] – учащимся нужно постараться вспомнить, в связи с чем и что именно о нем говорилось.

Правильный ответ: в разделе, посвященном «общим местам» (топосам), шла речь об отношениях между понятиями, и один из типов связи понятий в топосе – определение [Конявская].

---

[1] Теория отражения, вообще говоря, создана В. И. Лениным не революционно, а построена на базе взглядов К. Маркса и Ф. Энгельса, но все же она стала из взглядов теорией (теорией познания диалектического материализма) именно в работе В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм».

[2] Связь с курсом прикладной риторики для специалистов защиты информации будет устанавливаться не раз по мере изложения материала, в случае если учащиеся не проходили этого предмета, с материалом учебника по риторике целесообразно знакомить в том объеме, в котором он приведен в книге во фрагментах.

Конявская С. В. Прикладная риторика. С. 56–61.

Разобраться с отношениями между понятиями достаточно легко, поскольку в отличие от элементов, которых может быть бесконечно много (поскольку их источник – культура – сама по себе не статична), связей – конечное и вполне обозримое количество.

Они группируются в 3 типа:

1. **определение,**
2. **отношение,**
3. **обстоятельство.**

1. **Определение** – это тип связи, при котором элементы сводятся как полностью или частично идентичные или разводятся как неравнозначные или относящиеся к разным общим категориям. Важно не путать определение как тип связи с научными определениями, которые характеризуются жесткими требованиями и относятся преимущественно лишь к одному из видов определений.

Видов отношений определения 7.

1) *Сущность*. К этому виду относятся указательные или образные определения: «Вот это – круг», «Архитектура – это музыка в камне».

2) *Имя*. Этот вид определения очень похож на предыдущий, но с одним существенным отличием – имя *условно*: «Это называется свинство», «Хорошее дело браком не назовут».

3) *Тождество.* Это отношения частичной или полной равнозначности: «голод – не тетка», «старость – не радость».

4) *Признак.* Это отношения, при которых один элемент является свидетельством другого: «бьет – значит, любит».

5) *Взаимосвязь.* Это отношения между элементами, непременно требующими один другого (право – лево, верх –

низ и тому подобные): «Киса Воробьянинов – отец русской демократии» – установлены отношения взаимосвязи «отец – ребенок», стало быть, имеем в виду, что другими словами мы сказали, что русская демократия – ребенок Кисы Воробьянинова. Образ очень емкий.

6) *Род/вид.* Это именно тот вид определений, по которому строится большинство определений в научном смысле слова, устанавливается, к какому классу предметов или понятий относится определяемое, и называются дифференциальные признаки, по которым в этом классе можно однозначно выделить: «равносторонний треугольник – это треугольник, все стороны которого равны», «кошки делятся на длинношерстных, короткошерстных и лысых».

7) *Часть/целое.* Этот вид определения очень важно не путать с предыдущим. Часть/целое – это определение понятия через его составные части: «треугольник – это три стороны и три угла между ними», «кошки делятся на голову, туловище, 4 лапы и хвост».

2. **Отношение** – это тип связи, при котором устанавливаются сходства, различия, взаимные зависимости и оценки понятий.

Можно выделить 5 видов отношений.

1) *Сравнение*. Этот вид отношений предполагает наличие какой-то шкалы значений по определенному признаку, по которой понятия сравниваются, – больше/меньше, лучше/хуже, темнее/светлее: «Хрен редьки не слаще» (зато, возможно, легче или, например, длиннее), «Старый друг лучше новых двух».

1) *Сопоставление.* Это сравнение понятий по определенному признаку, но уже не по шкале: голубой/зеленый, красивый/полезный. Можно сказать, что

если *сравниваются* адекватные один другому элементы, то *сопоставляются* – не адекватные: «за морем телушка – полушка, да рубль перевоз».

2) *Противопоставление.* Такие отношения могут связывать только те понятия, которые являются жестко зафиксированной парой: белое/черное, мужчина/женщина, небо/земля.

3) *Несовместимость.* Эти отношения принципиально отличаются от противопоставления тем, что предполагают обязательный выбор одного из двух, – эти понятия взаимоисключающие: «либо пан, либо пропал». В определенных контекстах противопоставленные понятия могут находиться в отношениях несовместимости (например, в рамках определения пола конкретного человека мужчина и женщина – понятия несовместимые), но далеко не всегда несовместимы понятия, исходно противопоставленные: упомянутые «пан» и «пропал» вне контекста поговорки таковыми явно не являются.

4) *Совместимость лица и поступка.* Это так называемый «аргумент к человеку»: «все женщины думают одинаково», «врач бы никогда так не поступил».

1. **Обстоятельство** – это тип связи, при котором дается представление о предмете или явлении либо его характеристика.

Видов обстоятельств 5.

1) *Место*. Ответ на вопрос «где?» – здесь, между А и В, перед, за и т. д.

2) *Время.* Ответ на вопрос «когда?» – сегодня, до, после.

3) *Основание.* Это отношения причины, цели, следствия, условия и пр.

4) *Средство.* Эта связь между понятиями, как правило, используется в топосах для того, чтобы охарактеризовать

сложность или значимость цели: «из пушки по воробьям», «всем колхозом…», «флот и авиация были брошены…».

5) *Образ действия.* Это, в свою очередь, характеризует деятеля с точки зрения его компетентности: наугад, с песней (сравним, средство – лопатой, а образ действия – быстро). <…>

Второй случай, когда мы встретились с определением чего-то в курсе риторики, был при изучении раздела «Логика», являющегося «вставной новеллой» в этом курсе.

Обращает на себя внимание то, что

а) отрывки перекликаются через «типы связей между понятиями», хоть и относятся к разным разделам, и

б) первый из приведенных отрывков касается «определения как результата», то есть некоторых высказываний, являющихся определениями, а второй посвящен в большей степени процессу определения.

Взаимосвязанность отрывков естественна как потому, что определение всегда сохраняет свои базовые особенности, в любом своем проявлении, так и потому, что фрагменты относятся к смежным темам, разделение которых носит не столько онтологический, сколько композиционный характер. Иными словами, это единый смысловой кусок, для удобства восприятия разделенный на две темы.

В связи с тем, что повторить основы логики – никогда не лишнее, приведем несколько избыточную выдержку, в которой избыточность, однако, позволит сохранить связность текста.

Конявская С. В. Прикладная риторика. С. 64–65; 67–69.

Логика не поможет *придумать правильную идею*, но она поможет свою правильную идею *выразить* так, чтобы она была адекватно понята, или найти ошибку в своих или чужих доводах.

Логическое мышление сформировано во взаимодействии человека с окружающим миром и всем человеческим опытом.

Это определение звучит не очень лапидарно, однако оно отражает два ключевых момента: если человек в своем мышлении отрицает

- чужой опыт или
- результаты собственного взаимодействия с действительностью,

то его мышление ненормально, неправильно – *нелогично*.

Логическое мышление всегда

1) определенно,
2) последовательно,
3) доказательно.

Это значит:

1. Даже то, о чем мы имеем весьма смутное представление, мы как-то определяем – какой-то совокупностью признаков, по которой мы заключаем, что это именно оно и есть, а не что-то другое. Это и значит, что мы мыслим каждый предмет (в широком смысле – как предмет мысли, а не только как физическое тело) *определенно*. Даже заблуждаясь насчет того, что такое, например, фузия или

выхухоль, если нам вообще знакомо это слово, *как-то* мы себе эти предметы представляем.

Это очень хорошо подтверждается тем, что если мы не видим *никаких* определяющих признаков предмета, то мы и не можем сказать, что это такое – даже приблизительно, даже на уровне, *есть* это или нет.

2. Мы знаем, что тот признак, который у предмета есть, не может у него *не быть* *в то же самое время*. Это и значит, что мы думаем о предмете *последовательно*. Выхухоль либо живой, либо не живой, либо существует, либо не существует, но никак не то и другое одновременно[3].

3. Чтобы принять нечто за истину, мы должны видеть этому достаточные основания. Это и значит, что мы мыслим *доказательно*.

Сразу стоит оговориться, что не имеет смысла начинать спор о том, что «достаточные основания» – это понятие слишком неточное, чтобы брать его в расчет и тому подобное. Обратим внимание на то, *для кого* они достаточны. У этих двух действий *один субъект* – тот, кто считает основания достаточными, – принимает А за истину, а тот, для кого эти основания недостаточны, – не принимает. Мышление индивидуально, а не коллективно, пока речь идет о мышлении, а не об убеждении, доказательность касается только нас самих, а не кого-то еще.

Непосредственно отсюда – из признаков логического мышления – вытекают ***законы логики***. <…>

[3] Заметим, что наличие/отсутствие – это тоже признак, так же как и размер, цвет или одушевленность. Одним из признаков русалки для большинства людей является то, что ее *не бывает*, а другим признаком – то, что у нее хвост вместо ног.

В формулировках этих законов прозвучали два ключевых понятия логики, представлениями о которых целесообразно ограничить изучение этой дисциплины в рамках курса прикладной риторики, – это ***суждение*** и ***понятие***.

Суждение – это мысль, посредством которой:

1) называется предмет,

2) раскрывается часть содержания этого предмета,

3) утверждается отношение между предметом и выделенной частью его содержания.

То есть мы говорим P (предикат) об S (субъект) и указываем, как они связаны. Отношение между предметом суждения и той частью его содержания, которая раскрывается в суждении, является частью предиката, однако для наглядности можно выносить ее отдельным пунктом.

Дельфин – млекопитающее.

S – дельфин (предмет суждения), P – млекопитающее (та часть содержания S, которую мы раскрываем в суждении), а связь между ними – «вид/род»: S является видом P (определение).

Растения не умеют разговаривать.

S – растения, P – умение разговаривать, связь – отсутствие признака (определение).

Человек существенно больше мухи.

S – размер человека, P – размер мухи, связь – больше (сравнение).

Очень важно понимать, что понятие *суждение* не тождественно понятию *предложение*. Действительно, вербально суждение может быть выражено только предложением, но

- одно суждение может быть выражено разными предложениями,
- одним предложением могут быть выражены разные суждения.

Сравним:

Греция – родина Олимпийских игр.

S – Греция, P – первые Олимпийские игры, связь – признак (определение).

В Греции возникли Олимпийские игры.

S – Греция, P – первые Олимпийские игры, связь – признак (определение).

Эти два разных предложения выражают одно и то же суждение, субъект в котором – Греция (то есть речь идет именно о ней), а предикат – первые Олимпийские игры (то есть Греция в этом суждении характеризуется тем, что именно там возникли Олимпийские игры).

С другой стороны, представим себе, что некто уже не первый раз ошибочно утверждает, что Олимпийские игры возникли, например, в Риме. В таком контексте то же предложение: «*В Греции* возникли Олимпийские игры» – будет выражать уже другое суждение, в котором субъектом будут Олимпийские игры, а предикатом – Греция, связь – место (обстоятельство).

Соответственно, для того чтобы определить, с каким суждением мы имеем дело, необходимо выявить субъект и предикат.

За субъектом и предикатом стоят ***понятия***.

Понятие – это совокупность признаков предмета, необходимых и достаточных для его определения.

То есть, фактически, это то, что представляет собой для нас значение слова, которое мы, как мы считаем, знаем. В терминологическом смысле «значение слова» не совсем равно понятию, но это предмет другой дисциплины.

Например, понятие «квадрат» состоит из следующих признаков:

- геометрическая фигура,
- плоская,
- прямоугольная,
- все стороны равны.

А понятие «врач» из признаков:

- человек,
- профессия,
- лечит людей.

Очень важно помнить, что понятие – это не просто набор признаков, а именно совокупность *необходимых и достаточных* признаков. Если какой-либо из признаков убрать, то сразу возникает неоднозначность, появляются варианты – квадрат или треугольник? Врач или, например, шаман?

Понятий об одном и том же предмете может быть несколько. Так происходит потому, что для разных целей определяющими будут являться разные признаки одного и того же предмета. Химик определит воду как H_2O, физик – как бесцветную жидкость с определенной плотностью и, наверное, тепло- и электропроводностью, биолог – как среду обитания каких-нибудь живых организмов и т. п. Все это будут разные понятия, но об одном и том же предмете. <…>

Вспомнив или отыскав в учебнике нужные отрывки, учащиеся должны постараться сформулировать следующие опорные пункты:

1) любое суждение выделяет какой-то признак (предикат) предмета суждения (субъекта), однако не все они являются определениями, даже если при построении суждения применен тип связи «определение»;

2) для того чтобы что-то определить, нужна совокупность признаков, достаточных для проведения границы между тем, что относится к данному понятию, и тем, что к нему не относится. Определение *системно*;

3) определений одного и того же предмета может быть несколько – для разных задач могут быть определяющими (и, наоборот, несущественными) разные признаки. Определение *полезно*.

Итак, очевидно, что в основе процесса определения – будь то определение съедобности рыбы или научного термина – лежит формирование списка его дифференциальных признаков. И, как правило, поскольку определение редко производится само по себе, как единственное и независимое действие, – дальнейшее его сопоставление с каким-то другим списком. Мы смотрим за окно уже со своими сложившимися представлениями о том, какая погода – хорошая, и сравниваем (точнее, все же – сопоставляем) признаки фактической погоды с признаками хорошей, чтобы определить, хороша ли погода фактическая. То же самое с рыбой и с тем, что там виднеется вдали. Просто в разных случаях эталоны и сам процесс сопоставления с ними могут быть более или менее осознанными. Наименее осознанными, конечно, являются процессы, связанные с распознаванием зрительных образов, когда мы что-то рассматриваем, мы редко отдаем себе отчет, что мы при этом ищем подходящую картинку «в папке Изображения».

Остановимся еще раз на понятии «дифференциальные признаки», ранее уже упоминавшемся в связи с выстраиванием оппозиций. В деле формирования правильной оппозиции дифференциальный признак должен быть единственным, это самоочевидно. Однако, в зависимости от того, для чего мы

классифицируем объекты в данном случае, дифференциальный признак может быть сложносоставным, в него могут входить несколько признаков, а как правило, не просто несколько, а именно совокупность, определенный их набор.

Допустим, спелыми яблоками сорта «рассвет» являются яблоки диаметром от… до… темно-красного цвета с желтовато-кремовой мякотью, темно-коричневыми косточками, с высохшими (ломкими) чашелистиками и сухой темно-коричневой плодоножкой.

Пример легко понять – каждый из этих признаков в отдельности является лишь косвенным указанием на то, что яблоко, возможно, спелое, совокупность же всех этих характеристик позволяет утверждать это наверняка.

При этом дифференциальной для отличения спелых яблок от неспелых (бинарная оппозиция) будет являться именно эта совокупность. Хотя разделить яблоки на группы можно и по каждому из этих признаков в отдельности, но утверждать, что яблоко спелое, – при наличии сразу всех.

Рассмотрим другой пример. [и] – это гласный звук переднего ряда и верхнего подъема, нелабиализованный (это означает, что он произносится без участия губ, неогубленный). Из этих признаков однозначно складывается единственно возможный звук – [и].

Для того чтобы определить, какие признаки здесь дифференциальные, а какие – нет, нужно определить, без каких из них, грубо говоря, невозможно точно определить, [и] это или какой-то другой звук. Как ни удивительно, но признак «гласный» окажется недифференциальным, так как характеристики «ряд» и «подъем» есть только у гласных, у согласных они отсутствуют. Признак нелабиализованности также не будет дифференциальным, так как лабиализованных гласных верхнего подъема не существует. А вот верхний подъем и передний ряд – оба признака дифференциальные, так как и в переднем ряду есть гласные разных подъемов, и гласные разных рядов могут быть верхнего подъема. Значит, для однозначного определения звука [и] требуется указать оба эти признака.

В то же время неверно было бы предположить, что лабиализованность никогда не выступает дифференциальным признаком. Но в русском языке – не выступает, этот признак характеризует только гласные заднего ряда, причем все. То есть это признак, *дополнительный* признаку «заднего ряда».

Что же с признаком «гласный»? Он явно не дополнительный. Он *родовой*, то есть характеризует весь класс объектов, подкласс или объект из которого мы определяем.

Родовой признак важно определять правильно, так как, если в определение включен в качестве родового признак, не являющийся таковым, это компрометирует определение целиком, поскольку отражает нечеткое представление автора определения о системе, в которую включен определяемый объект.

Большим искушением является назначить родовым признак, выделяющий группу большего объема, которая, якобы «делится на…».

Допустим, утверждение, что гласные верхнего подъема делятся на гласные переднего, среднего и заднего ряда, – формально верное. Да, в верхнем подъеме в русском языке [и], [ы] и [у]: [и] – переднего, [ы] – среднего, а [у] – заднего ряда.

Однако в то же самое время по ряду делятся и все остальные гласные. Так что, будучи *фактически* верным, такое утверждение является *логически* ошибочным.

Особенность родовых признаков в том, что они, *как правило*, характеризуют объект с других позиций, не с тех же, с которых видовые. Например, гласный/согласный (строго говоря, парадигма включает больше членов – гласный/сонорный/шумный, но в данном случае это не принципиально) – это *акустические* характеристики звука – по соотношению в нем шума и голоса, а ряд, подъем, лабиализованность гласных, твердость/мягкость и глухость/звонкость согласных и другие – это *артикуляционные* признаки.

Исключения из этого правила довольно редки и характерны не для отношений род/вид, а для отношений вид/подвид. Такие отношения вряд ли можно положить в основу красивого и эффективного определения.

Например, [л] и [н] – сонорные по соотношению шума и голоса, смычно-проходные по способу образования и различаются тем, что в случае с [н] голос проходит через нос (он «носовой»), а в случае с [л] – через рот по бокам от языка (он «боковой»). Очевидно, что попытка определить [л] как боковой смычно-проходной *звук*, что, вообще говоря, достаточно для того, чтобы точно его вычислить, звучит довольно скверно. Родовой признак «сонорный» все-таки требуется.

Это, пожалуй, все основное, что необходимо сказать об определении как процессе. Еще раз напомню только, что этот процесс должен быть организован в соответствии с признаками любого научного процесса, все они к нему применимы, кроме разве что специального инструментария – он, пожалуй, требуется при определении не всегда.

Основным предметом нашего рассмотрения является, конечно, «определение как результат», сама формулировка, получающаяся *в результате* этого исследовательского процесса.

Роль определений в научном тексте, конечно, не следует недооценивать – они очень важны по нескольким причинам.

1. Они задают контуры системы, в рамках которой подается вся основная информация работы. Если оставить определения без внимания, можно понять остальное неверно.
2. Они позволяют предельно концентрированно и воспроизводимо (хорошее определение всегда запоминается) выразить (и, наоборот, почерпнуть) значительную часть концептуального содержания подхода исследователя.

Это надо иметь в виду в связи со следующими обстоятельствами. Подход исследователя и используемые (как вводимые, так и заимствованные) им определения тесно связаны. Когда вы выбираете определение для применения в своем исследовании из ряда существующих в науке на данный момент, ознакомьтесь с концепциями исследователей, которые ввели их в научный оборот, поскольку есть вероятность того, что – особенно до накопления исследовательского опыта – вы

не сможете по самой формулировке определения сразу просчитать все следствия, которые могут войти в противоречие с вашей собственной концепцией.

И наоборот, быстро составить свое представление о том, является ли подход того или иного исследователя близким вашему, можно, проанализировав используемые им определения.

Однако это все-таки экспресс-анализ, он не заменяет чтения источников, ведь определение может быть выбрано исследователем неудачно, а сам его подход окажется совершенно другим. К сожалению, нельзя рассчитывать на то, что все уже введенные в научный оборот работы подготовлены безупречно и не содержат никаких недостатков или несообразностей.

При всей концептуальной значимости определений их концентрация в научных текстах (за исключением учебной литературы и учебно-исследовательских работ) не так велика, как можно было бы ожидать.

В учебнике определения приводятся в изобилии именно потому, что это быстрый и удобный способ сразу постичь аксиоматику предмета, охватить контуры содержания, которые потом будут уточняться и раскрашиваться нарративным (повествовательным) текстом. В учебной работе определения даются для того, чтобы продемонстрировать уровень овладения материалом, а также навык реферирования и работы с литературой в целом – если вы выбрали определения, свойственные разным, несводимым концепциям, это покажет незрелый или формальный подход к работе.

За исключением, конечно, случая, если эти определения будут сведены автором учебного исследования в единую и непротиворечивую систему. Это, наоборот, будет говорить о его высоком научном потенциале, который следует непременно развивать.

Если вы хотите показать себя с этой стороны, то именно на материале работы с определениями это сделать, пожалуй, проще всего.

Что же касается «взрослого» самостоятельного научного исследования, то определения в нем даются только

1) для ключевых понятий,

2) ранее не определенных, но нуждающихся в определении понятий,

3) понятий дискуссионных.

Если в исследовании много определений, оно будет похоже на учебник или на учебную работу. Значит, если вам надо ввести множество определений в исследование, не относящееся к этим видам, думайте о форме представления материала более тщательно, чтобы избежать этих ассоциаций.

К определению как вербальной формуле часто ошибочно относят ряд других результатов логической (или просто мыслительной) операции определения. Это, в первую очередь, указание (так называемое «дейктическое определение») и номинация (поименование, присвоение имени или названия), реже – так называемые «контекстуальные определения».

Указание – это, по сути, приведение примера. Вот это – слон, говорим мы, показывая на слона пальцем. Очевидно, что имела место операция определения – мы сопоставили имеющееся животное с теми признаками, которые считаем присущими слону, и *определили*, что перед нами слон. Однако столь же очевидно, что получившаяся формулировка «это – слон» никак не может быть определением, хотя бы потому, что согласно такому «определению» слон, стоящий рядом с тем, на которого мы указали, или вообще любой другой слон – уже не слон. *По определению*. Более того, не очевидно, что окажется слоном даже этот же самый слон, когда он будет предъявлен в других обстоятельствах, так как, где границы «этого» (только сам слон, или вся клетка, или, наоборот, только хобот?), при указании не понятно.

Номинация – это очень эффективный риторический прием. Невозможно возражать на то, что нечто как-то называется, так как название может быть ограничено только фантазией называющего (ну и свидетельствами на товарные знаки). Если мы называем газету «Правда», то возражения на этот счет

довольно бессмысленны, даже если и справедливы. Часто этот прием используется целенаправленно, и, если проанализировать задачи автора, можно понять зачем. Но есть и другие примеры, далекие от риторики, такие как номинации «квалифицированная электронная подпись» и «квалифицированный сертификат». Они представляют собой, видимо, поэтическую метафору, так как «квалифицированный» – это *имеющий необходимую квалификацию* и к неодушевленным предметам, даже связанным с аккредитованными удостоверяющими центрами, применить это слово *в прямом смысле* вряд ли возможно. Однако если указать «ЭП… *называется* квалифицированной», то возразить на это, в общем, нечего.

В научном исследовании это неприемлемо, так как компрометирует исследователя.

Контекстуальные определения – это некоторый текст, позволяющий получить представление об определяемом предмете. В лучшем случае это вербализация процесса определения, и тогда, если текст хорошо составлен, он может быть «сокращен» до нормального научного определения. Если же нет, то, конечно, называться определением такое не может.

По сути именно контекстуальными являются образные определения. Они могут что-то добавить к представлению человека о предмете определения, но не более того. Отличить архитектуру от скульптуры на основании того, что это «музыка в камне», невозможно.

Прежде чем разбирать, на какой же схеме отношений между понятиями строятся правильные научные определения, стоит остановиться на том, что они делятся на два типа, которые не только имеют разную структуру, но и решают разные задачи, а к ним самим при этом применяются совершенно разные критерии оценки их качества.

Речь идет о «реальных» и «номинальных» определениях.

«Реальные» определения фиксируют положение дел, как оно есть, описывают, каков определяемый предмет.

«Номинальные» же определения задают требования к тому, как следует употреблять определяемое понятие, что именно уместно так называть.

Разница кажется не очень существенной, более того, в действительности определения часто формулируются так, что без трансформации или контекстуального анализа и не установишь ясно, какого же оно типа. Однако эта разница принципиальна. В первую очередь, потому, что *описание* может быть *истинным или ложным*, стало быть «реальное» определение может быть *правильным или неправильным*, а вот *требование* быть истинным или ложным не может, оно может быть только *целесообразным или нецелесообразным* по каким-то причинам.

Таким образом, если кто-то утверждает, что «бегемот – это такой хищник, который…», мы можем (и даже должны) возразить, что это определение неверное, так как бегемоты – травоядные. Если же этот оригинал напишет «бегемотом будем называть хищника, который…», то мы уже не можем сказать, что это неверно, но не обязаны соглашаться, а можем возразить, что это нецелесообразно.

Заметно, что «номинальное» определение напоминает номинацию. Выше говорилось о том, что подмена определения номинацией в научном тексте неприемлема. Намечающееся противоречие снимается, если инвертировать ситуацию и разобрать, как определения этих типов *применять*, а не как на них возражать.

«Реальное» определение нужно для того, чтобы провести границу между предметом обсуждения и всем остальным. «Номинальное» же определение нужно для того, чтобы уточнить содержание понятия для решения конкретной задачи или в изменившихся (уточненных) условиях. Это особенно важно для понятий, не имеющих предметного проявления, ноуменов. Мы никак не можем провести эксперимент и убедиться в том, что такое категория или ментальность. Но мы можем ясно понимать недостаточность и бессмысленность имеющегося определения и необходимость нового. В этом

случае мы должны объяснять не *почему* это так, а не эдак, а *для чего* целесообразно определять понятие так, как мы предлагаем.

«Номинальными» определениями не стоит увлекаться, потому что это очень короткий путь к полной утрате объективности.

Более того, я склонна согласиться с А. А. Ивиным [Ивин] в том, что определениями вообще не нужно увлекаться, потому что предельную ясность тексту, в том числе и научному, придают не они, а точное употребление в своем прямом смысле на своем правильном месте самых обычных слов, не нуждающихся в пространных разъяснениях.

Вернемся, однако, к структуре определений. Очевидно, что для «реальных» и «номинальных» определений она будет разной.

Классические научные определения – это *реальные определения, построенные на связи понятий «род/вид»*.

Реальные определения, построенные по типу «часть/целое», как правило, неверны по одной из двух причин.

1) Главная – сущностная – причина заключается в том, что перечисление частей редко раскрывает предмет достаточно глубоко. Определение, состоящее только из этого, скорее всего будет непродуктивным.

На понятии продуктивности определения стоит остановиться, так как это один из главных критериев оценки качества определений. Продуктивность не следует путать с целесообразностью, о которой выше шла речь как о критерии оценки номинальных определений, хотя слова эти явно находятся в одном семантическом поле (поле значений). Продуктивность применительно к определению означает (если мы вспомним, где мы встречались с этой характеристикой в риторике (это было требование к «предложению» – формулировке главной мысли речи), то окажется ровно то же самое) *возможность порождения нового смысла*. Определение должно нам что-то давать для рассуждения (анализа, исследования, синтеза), иначе определять понятие не надо.

Для этого оно должно раскрывать какую-то такую часть содержания понятия, которая не очевидна без данной формулировки. Тривиальное определение уместно только в обучении.

2) Зачастую состав частей выделяется в том или ином смысле плохо. Или просто неверно (что-то пропущено, что-то лишнее или соединены части разных уровней дробности), или не на том уровне, на котором этот перечень информативен и действительно позволяет хотя бы ясно отличить определяемое от того, что им не является (не касаясь вопроса продуктивности такого определения).

Реальные определения, построенные на основе остальных типов связи, приведенных в выдержке из курса риторики, неверны почти наверняка. Надо заметить, что они обычно на этих типах связи и не строятся, разве что на «взаимосвязи», но это сразу читается как бросающаяся в глаза ошибка.

Иная ситуация с номинальными определениями. Поскольку их задача фактически – условиться о словоупотреблении, то применение связей типа «часть/целое», «взаимосвязь», даже «тождество» – вполне уместно. Более того, приемлемы в общем-то все типы связей, кроме «имя» и «совместимость лица и поступка». С большой осторожностью нужно пользоваться связью «образ действия». Довольно редко на этом факторе действительно целесообразно строить определение.

Следует иметь в виду одну опасность, связанную с номинальными и реальными определениями, – опасность их смешения. Часто – намеренно или нет – определение сочетает в себе признаки и того, и другого типа, что, разумеется, влечет за собой проблемы, связанные с разницей в их назначении. Полбеды, когда реальное определение имеет оттенок требования – как, например, толкование слова в словаре: в первую очередь, это фиксация реального положения дел, но отчасти и указание, что применять это слово надо именно в этом смысле. Опять же, строго говоря, определение, в том числе и реальное, в текст вводится зачастую и для того, чтобы

«договориться о терминах», чтобы понимать друг друга одинаково в рамках этого текста.

Хуже, когда номинальному определению придается форма реального, и эта форма вводит в заблуждение недостаточно критично настроенного исследователя. Или, что часто бывает с начинающими исследователями, откровенно номинальное, корректно оформленное определение воспринимается ими как реальное просто потому, что они не осознают разницы между этими двумя типами, и в результате оно перекочевывает в другой текст и, что важнее, в другой контекст, в котором оно используется как неверное реальное определение, компрометируя (в случае наличия ссылки) своего автора.

Это почти всегда происходит с определениями из нормативных документов. Такие определения часто подвергаются критике как реальные, являясь номинальными, и не менее часто используются как реальные, запутывая и без того не очень выстроенную терминологическую базу. Определения из нормативных документов подлежат критике и могут (даже должны) применяться, однако именно как номинальные.

Стоит принять за правило всегда исходить из того, что определения, вводимые в разделах «Термины и определения» нормативных методических документов, а также организационно-распорядительной документации, всегда должны восприниматься только как номинальные, область действия которых распространяется на те отношения, которые устанавливает или регулирует данный документ, и ни на что более.

Это позволит не только не переоценивать, но и *не недооценивать* сферу применения данных определений, ведь если результаты теоретического построения должны быть соотнесены с нормативной базой, то ее (этой нормативной базы) определения *должны* учитываться исследователем. Но в общем случае отнюдь не должны быть *положены в основу* построения.

Пример совершенно другой проблемы с определениями приведу на отрывке из исследования, претендующего на фундаментальный характер, что предполагает, казалось бы, в

отличие от регулирующих документов, реальные, а не номинальные определения. Роль номинальных определений в фундаментальном научном исследовании играют аксиомы. Это не совсем точное соответствие, однако довольно близкое. Есть основания считать аксиомы номинальными определениями как минимум с точки зрения содержания (а многие из них являются определениями и по форме тоже: параллельные прямые не пересекаются; через две точки можно провести только одну прямую линию; все живые организмы должны состоять из фенотипа и программы для его построения – генотипа, – передающейся по наследству из поколения в поколение).

Отрывок, который интересно проанализировать, не является определением как таковым, это именно формулировка двух аксиом разрабатываемой автором цитируемого исследования фундаментальной теории (теории защиты информации – ТЗИ).

Аксиома 1:

Все следствия и выводы ТЗИ могут быть получены из рассмотрения взаимодействия объектов – носителей фундаментальных понятий:

- подлежащая защите информация;
- среда (пространство, поле) существования информации, образованная из объектов – носителей свойств защиты информации и свойств, оказывающих дестабилизирующее воздействие на нее;
- время как часы;
- инерциальная система.

Аксиома 2:

ТЗИ формирует выводы из рассмотрения специфической формы движения – изменения состояний системы, образованной взаимодействием объектов – носителей фундаментальных понятий (Аксиома 1) [22].

Попробуем проанализировать этот отрывок: переформулировать эти аксиомы так, чтобы была прозрачна структура номинального определения, и оценить ту научную систему, контуры которой задаются этими определениями.

Первая аксиома – это номинальное определение механизма «получения» «следствий и выводов ТЗИ», построенное по схеме «средство». Следствия и выводы ТЗИ должны получаться путем рассмотрения взаимодействия неких объектов. Средством получения всех выводов и следствий ТЗИ должно быть рассмотрение взаимодействия этих объектов. Пока отложим вопрос о том, каких именно.

Вторая аксиома определяет… то же самое. В ней говорится о том, как, точнее, *из чего* ТЗИ «формирует выводы». Номинальное определение может звучать так: ТЗИ должна формировать выводы из рассмотрения изменения состояний системы, образованной взаимодействием тех самых объектов из первой аксиомы.

В первую очередь нуждаются в серьезном уточнении формулировки «выводы и следствия теории защиты информации». Замечу, что это не выводы и следствия ИЗ теории (то есть какие-то новые сведения, которые можно извлечь, анализируя теорию в целом), а выводы и следствия теории. Иными словами, видимо, те выводы и следствия, которые формируют саму теорию.

Итак, следствия и выводы, формирующие теорию, получаются не из аксиоматики и не из каких-либо посылок или фактов, а из *рассмотрения*

1) взаимодействия объектов и
2) изменения состояния системы, образованной взаимодействием этих объектов.

Однако это не все примечательное, что можно увидеть в этих аксиомах, если тщательно анализировать их как вместе, так и раздельно.

Здесь необходимо оговориться, что возможность и необходимость строить предположения относительно того, что хотел сказать исследователь, характеризует научный текст, разумеется, не с хорошей стороны, но к такой «текстологической» работе с источником исследователь должен быть готов.

Если с определенными оговорками представляется все же возможным делать *выводы* из рассмотрения какого-то

процесса, то как из рассмотрения какого-либо процесса может быть *получено (!) следствие* – непонятно совершенно.

Разумеется, мало приемлемо с точки зрения научного дискурса русского языка утверждение, что теория формирует выводы (из чего бы то ни было). Выводы, конечно, делает исследователь.

Глобальная проблема изначально тоже языкового характера, однако оказывающая разрушительное влияние на содержание первой аксиомы, – это неоднозначность согласования идущего после двоеточия перечисления с тем, что же именно перечисляется: объекты – носители фундаментальных понятий или сами фундаментальные понятия?

Более правдоподобной видится версия, что это все-таки «объекты-носители», но без консультации с автором текста это остается только предположением, тем более что объектами-носителями *каких именно* фундаментальных понятий являются «время как часы» (эта формулировка вообще совершенно непонятна) и остальные перечисленные объекты – нигде не упоминается.

Если все же это предположение верно, то система, рассмотрение изменения состояний которой дает все выводы теории (согласно аксиоме 2), образуется взаимодействием… подлежащей защите информации, среды, времени как часов и инерциальной системы.

Довольно сложно представить себе системообразующее взаимодействие этих объектов (или хотя бы обстоятельства, в которых такие объекты вообще могут взаимодействовать).

Впрочем, если подлежащая защите информация, среда, время как часы и инерциальная система – это фундаментальные понятия, то остается вопрос, какие объекты являются их носителями и взаимодействуют, порождая своим взаимодействием систему самих себя.

Кстати, эта звучащая абсурдно фраза – не вымысел саркастически настроенного интерпретатора, она с неизбежностью вытекает из текста аксиом.

Согласно совокупности двух определений одного и того же (механизма формирования выводов в рамках ТЗИ) взаимодействие объектов X – это изменение состояний образованной этим взаимодействием системы.

До X я сократила «объекты – носители фундаментальных понятий». Чтобы сделать структуру еще более прозрачной, назовем взаимодействие X – процессом Y.

Получим, что процесс Y есть изменение состояний системы, образованной процессом Y.

Никакой комментарий к этому ничего существенного не добавит.

Очевидно, что такая аксиоматика нуждается в редактировании или как минимум развернутом комментарии автора и не может применяться как есть.

Рассмотренный пример иллюстрирует кроме связи определения с контекстом еще одно важное требование – требование применения однозначных слов и формулировок. В научном определении следует избегать метафоричности и любого иного рода образности, а также и всего другого, что может породить различные интерпретации.

Последнее, что необходимо разобрать перед подведением некоторых итогов по феномену определений, – это понятие «область определения».

Строго говоря, применение этого термина в каких-либо контекстах кроме «область определения функции» является метафорическим и относится к научному жаргону. Однако это жаргонное словоупотребление прижилось и стало частью вполне качественного и авторитетного научного дискурса именно потому, что в отношении терминов и понятий научного исследования такая характеристика просто необходима.

Напомню, что область определения функции – это множество, в каждой точке которого ее значение определено.

Когда мы говорим об области определения какого-то термина или понятия, мы имеем в виду примерно то же – то множество, тот контекст, для которого верно именно это

содержание используемого нами понятия, где применим данный термин, в рамках которого действует данное правило.

Иными словами, это некоторые ограничения, накладываемые на формулируемое суждение. За рамками этого ограничения автор не отвечает за истинность суждения (это не значит, что оно там непременно ложно, просто это как минимум вне рамок рассмотрения и истинность/ложность следует проверять дополнительно).

Обычно область определения задается явно фразами типа «это верно для всех… которые…» и аналогичными. Такие оговорки в тексте исследования целесообразны, так как пресекают возможности спекулятивной компрометации определений (аксиом, правил), однако их не должно быть слишком много, иначе автор выглядит излишне осторожным, что снижает уровень доверия к его компетентности.

Итак, определение сформулировано и применено корректно, если

1. оно достигает своей генеральной цели – позволяет провести четкую границу между определяемым понятием и всем, что в него не входит;
2. правильно подобран его тип – номинальное или реальное:
   a. реальное определение предназначено для того, чтобы зафиксировать реальное положение дел,
   b. номинальное определение предназначено для установления некоторого требования или договоренности о содержании определяемого понятия;
3. выбранный тип корректно реализован – формулировка позволяет точно и однозначно определить, реальное определение или номинальное;
4. определение составлено без ошибок:
   a. реальное определение верно (истинно),
   b. номинальное определение целесообразно;
5. задана область определения, и она соответствует целям и задачам исследования в целом;
6. определение верно для всех объектов в классе в рамках области определения;

7. определение продуктивно – оно дает возможность получения нового смысла;

8. определение сформулировано как элемент понятийной системы исследования, оно не противоречит контексту, определениям других понятий, в том числе определяющих понятий, и их составным частям, не создает «порочных кругов» и прочих коллизий;

9. определение уместно и не избыточно, то есть определено понятие, нуждающееся в определении и имеющее отношение к предмету исследования, а не побочное для предмета;

10. Определение соответствует признакам научности.

Задание: проанализировать определения, приведенные в разделе 2.2. «Категории и понятия научной работы» книги Ф. А. Кузина «Диссертация». Для определений, которые чем-либо не удовлетворяют учащихся, сформулировать, чем именно, постараться предложить варианты корректировки или подобрать другое определение для того же понятия, которое будет лучше. Объяснить чем.

Прочитать отрывок из книги Д. Пойя [Пойя, 1959]. Постараться сформулировать, что общего у обозначений и определений и в какой плоскости лежат их основные различия (чем более системно удастся сформулировать одно и другое, тем лучше). Привлекать к рассуждению следует весь материал темы, а не только фрагмент книги Пойя. При наличии свободных часов полезно дать на эту тему письменное задание – эссе.

Пойя Д. Как решать задачу. С. 115–128.

Обозначения. Чтобы почувствовать преимущество удачно выбранного и хорошо знакомого обозначения, попытайтесь сложить несколько больших чисел при условии, что нельзя пользоваться привычными арабскими цифрами, а можно прибегать лишь к римским цифрам. Возьмите, например, числа MMMXC, MDXCVI, MDCXLVI, MDCCLXXXI, MDCCCLXXXVII.

Трудно переоценить значение математических обозначений. Современные вычислители, пользующиеся десятичным обозначением, имеют значительное преимущество над древними, у которых не было такого удобного способа записи чисел. Современный учащийся, знакомый с обычными обозначениями алгебры, аналитической геометрии, дифференциального и интегрального исчислений, имеет огромное преимущество перед греческим математиком в решении задач на площади и объемы, задач, на которых упражнялся гений Архимеда.

1. Речь и мышление тесно связаны. Употребление слов развивает мышление. Некоторые философы и филологи пошли несколько дальше, утверждая, что без слов нет мышления.

Однако это последнее утверждение кажется нам некоторым преувеличением. Если у вас есть некоторый опыт серьезной математической работы, вам известно, что можно проделать очень большую умственную работу, не прибегая к словам, а рассматривая лишь геометрические фигуры или пользуясь алгебраическими символами. Фигуры и символы тесно связаны с математическим мышлением; использование их развивает его. Можно было бы уточнить несколько ограниченное утверждение философов и филологов,

включая в данное ими определение наряду со словами другие виды символов и формулируя его так: *без символов нет мышления*.

Во всяком случае, употребление математических символов подобно употреблению слов. Математические обозначения выступают как своего рода особый язык, *une langue bien faite*, язык, хорошо приспособленный к своему назначению, краткий и точный, с правилами, которые в отличие от правил обычной грамматики не терпят никаких исключений.

С этой точки зрения, составление уравнений имеет сходство с переводом, переводом с обычного языка на язык математических символов.

2. Такие математические символы, как **+**, **—**, **=** и ряд других, имеют определенный общепринятый смысл. Другие же символы, как, например, маленькие и заглавные буквы греческого и римского алфавитов, могут иметь разный смысл в различных задачах. Встречаясь с новой задачей, мы должны выбрать определенные символы, *ввести подходящие обозначения*.

Здесь имеется некоторая аналогия с употреблением обычного языка.

Многие слова в различных контекстах имеют различный смысл; когда важна точность, мы должны тщательно выбирать слова.

Выбор обозначений является важным моментом в решении задачи. К нему следует отнестись очень внимательно. Потраченное на выбор обозначений время с лихвой компенсируется тем временем, которое мы сэкономим, избежав путаницы в работе. Более того, тщательно выбирая обозначения, мы будем хорошо разбираться в тех элементах задачи, которые подлежат

обозначению. Таким образом, выбор подходящего обозначения может существенно помочь нам понять задачу.

3. Хорошая система обозначений должна удовлетворять следующим требованиям: она должна быть однозначной, содержательной, легко запоминающейся. Она должна исключать «вредные» дополнительные значения и с выгодой использовать «полезные» дополнительные значения. Порядок и связь между обозначениями должны определять порядок и связь между обозначаемыми объектами.

4. Знаки должны, прежде всего, иметь определенное *значение*. Недопустимо, чтобы один и тот же знак обозначал два различных объекта или понятия в одной и той же задаче[4]. Если, решая задачу, вы обозначили какую-нибудь величину буквой a, не следует в этой же задаче обозначать той же буквой другую величину. Разумеется, в другой задаче можно использовать букву a в другом значении.

Хотя и запрещается использовать один символ для обозначения разных объектов, но можно использовать различные символы для обозначения одного и того же объекта. Например, произведение a на b может быть записано как:

$$a \times b,\ a \cdot b \text{ и } ab.$$

В ряде случаев выгодно использовать два или более различных символа для обозначения одного и того же объекта, но в таких случаях требуется особая осторожность.

[4] К сожалению, этот принцип не всегда еще соблюдается в существующих фактически системах обозначений. Так, в традиционной символике учения о функциональной зависимости знак $f(x)$, смотря по контексту, может обозначать как самое функцию (закон функционального соответствия), так и значение зависимой переменной, соответствующее значению x аргумента. Такая двусмысленность знака $f(x)$ нередко серьезно затрудняет учащихся, начинающих изучать основы математического анализа. (Примечание к русскому переводу. – *Ред.*)

Обычно лучше всего пользоваться лишь одним символом для обозначения одного объекта и без настоятельной необходимости не применять несколько обозначений.

5. Хорошее обозначение должно *легко запоминаться* и легко распознаваться. Обозначение должно немедленно вызвать у нас представление об обозначаемом, и наоборот.

Есть простой способ делать обозначения легко узнаваемыми – это применять начальные буквы в качестве символов. Например, в пункте 20 мы использовали r для обозначения скорости (англ. – rate), t – времени (англ. – time), V – объема (англ. – volume). Мы не можем, однако, пользоваться этими буквами во всех случаях. Так, в пункте 20 нам пришлось рассматривать радиус, но мы не могли обозначить его через r, так как этой буквой обозначалась скорость. Существуют и другие соображения, ограничивающие выбор символов, и есть способы сделать символы легко узнаваемыми. О них речь будет идти ниже.

6. Обозначения будут не только легко ассоциироваться с понятиями, но и окажутся особенно полезными для оформления наших представлений, когда порядок и связь между обозначениями подсказывают порядок и связь между самими объектами. Для того чтобы проиллюстрировать эту мысль, приведем несколько примеров.

(I) Для обозначения родственных объектов в рассматриваемой задаче мы пользуемся буквами, расположенными в алфавитном порядке.

Так, например, для обозначения известных или постоянных величин мы обычно пользуемся начальными буквами алфавита a, b, c, а для обозначения неизвестных или переменных величин последними буквами алфавита x, y, z.

В пункте 8 для обозначения известных – длины, ширины, высоты параллелепипеда – мы пользовались буквами a, b, c. В этом случае обозначения a, b, c имели преимущество перед символами l, w, h[5], так как эти три величины играли одинаковую роль в решении задачи, что и подчеркивается тем, что для их обозначения использованы буквы, расположенные в алфавитном порядке. Более того, поскольку a, b, c являются первыми буквами алфавита, они, как мы уже говорили, чаще всего используются для обозначения заданных величин. В каком-либо другом случае, когда эти три величины будут играть разную роль – и важно будет знать, которая из них относится к горизонтальному или вертикальному отрезку, можно предпочесть обозначения l, w, h.

(II) Для обозначения объектов одной категории мы обычно пользуемся буквами одного алфавита. Для обозначения объектов разных категорий пользуются буквами различных алфавитов. Так, в планиметрии мы часто употребляем:

заглавные латинские буквы A, B, C,... для обозначения точек,

малые латинские буквы a, b, c,… для обозначения отрезков прямой,

малые греческие буквы α, β, γ,... для обозначения углов.

Для обозначения объектов разных категорий, имеющих какую-нибудь существенную связь между собой, важную для нашей задачи, мы можем пользоваться соответствующими заглавными и маленькими буквами одного алфавита, как, например, A и a, B и b и т. д. Для примера возьмем хорошо знакомые символы для обозначения элементов треугольника:

[5] l – первая буква английского слова length – длина, w – width – ширина, h – height – высота. (Примечание переводчика.)

A, B, C, – его вершины,
a, b, c, – его стороны,
α, β, γ, – его углы.

Обозначая так, мы полагаем, что a – сторона, лежащая против вершины A, а α – угол при этой вершине.

(III) В пункте 20 выбор букв a, b и x, y особенно удачен в смысле определения характера обозначаемых элементов и выявления связи между ними. Буквы a и b подсказывают, что обозначенные ими величины постоянные, в то время как x и y указывают на переменный характер соответствующих величин: a так предшествует b, как x предшествует y, а это наводит на мысль, что a относится к b так, как x к y. И в самом деле, a и x горизонтальные отрезки, b и y – вертикальные и $a : b = x : y$.

7. Запись $\Delta ABC \sim \Delta EFG$ означает, что данные треугольники подобны. В современных книгах эта формула указывает на соответствие вершин в том порядке, в котором они записаны: A соответствует E, B – F и C – G.

В старых книгах это условие о порядке соответствия вершин еще не было введено и читателю приходилось обращаться либо к чертежу, либо запоминать расположение соответствующих вершин.

Современные обозначения намного предпочтительнее старых. Пользуясь современными обозначениями, мы можем делать выводы из формул, *не обращаясь к чертежу*. Мы, например, можем утверждать, что

$$\angle A = \angle E$$

$AB:BC = EF:FG$ и т. д.

Старые обозначения менее выразительны и не позволяют делать таких определенных заключений.

Обозначение, позволяющее по сравнению с другим сделать больше выводов, может быть названо более *содержательным*. Современное обозначение подобия треугольников по сравнению со старым содержательнее, оно более полно, нежели старое, отражает порядок и связь элементов и поэтому может служить основой для большего числа выводов.

8. Слова имеют *дополнительные значения*. Некоторые контексты, в которых какое-нибудь слово часто употребляется, влияют на него и добавляют к его главному значению какой-нибудь оттенок, дополнительный смысл или дополнительное значение. Если мы внимательно относимся к изложению своих мыслей, то мы стараемся выбрать из ряда близких по смыслу слов то дополнительное значение, которое нам больше всего подходит.

Нечто похожее есть и в математических обозначениях. Даже математические символы могут приобрести дополнительное значение из контекстов, в которых они часто встречаются. При внимательном выборе обозначений мы должны учесть это обстоятельство. Чтобы это было понятно, проиллюстрируем сказанное примерами.

Есть ряд букв, имеющих твердое, общепринятое значение. Так, e обычно обозначает основание натуральных логарифмов, i обозначает $\sqrt{-1}$, т. е. мнимую единицу, и π – отношение длины окружности к диаметру. Лучше всегда употреблять такие символы только в их традиционном значении. Если мы воспользуемся таким символом в каком-нибудь другом значении, его традиционное значение может иногда смутить нас и даже ввести в заблуждение. Правда, «вредные» дополнительные значения такого рода меньше беспокоят начинающего, который изучил сравнительно мало отделов, чем специалиста-математика, которому приходилось

уже, вероятно, не раз иметь дело с такого рода неприятностями.

В то же время дополнительные значения символов могут быть полезными для нас, даже весьма полезными, если ими пользоваться с должным чувством меры. Обозначение, использованное ранее при решении, может помочь нам вспомнить какой-нибудь полезный прием. Разумеется, мы должны быть достаточно внимательны, чтобы четко отличать данное (основное) значение от его предыдущего (дополнительного) значения. *Утвердившееся обозначение* [например, традиционное обозначение элементов треугольника, упомянутое выше, п. 6 (II)] имеет большие достоинства. Будучи использованным в ряде случаев при решении задач, оно может воскресить в нашей памяти приемы, которые применялись нами ранее. Ведь мы запоминаем формулы с утвердившимися обозначениями. Конечно, следует соблюдать большую осторожность в тех случаях, когда в силу особых обстоятельств мы вынуждены прибегать к утвердившемуся обозначению, придавая ему смысл, несколько отличный от обычного.

9. Когда нам приходится остановить свой выбор на одном из двух обозначений, надо иметь в виду, что в пользу каждого из них есть свои соображения. Для выбора наиболее подходящего обозначения, так же как и в выборе наиболее подходящего слова, необходимы опыт и чувство меры. Для этого полезно знать различные преимущества и недостатки обозначений, о которых речь шла выше. Во всяком случае, нам следует внимательно относиться к выбору обозначения и *достаточно убедительно его мотивировать.*

10. Не только самые безнадежные ученики, но порой и довольно способные питают отвращение к алгебре. В обозначениях всегда есть что-то произвольное и

искусственное. Заучить новое обозначение – это бремя для памяти, и поэтому даже способный ученик отказывается принять на себя такое бремя, если он не видит в этом никакой пользы. Отвращение серьезного учащегося к алгебре оправдано, если собственный опыт не убеждает его в том, что язык математических символов помогает ему в решении задач. Помочь ученику приобрести такой опыт является важной задачей учителя, одной из его наиболее важных задач.

Мы подчеркиваем важность этой задачи, но не утверждаем, что ее легко разрешить. Вышеизложенные замечания могут быть полезными. Смотрите также составление уравнений. Проверка формулы путем всестороннего рассмотрения ее свойств может быть рекомендована в качестве особо поучительного упражнения.

(См. п. 14 и «Нельзя ли проверить результат?», п. 2.)

Определение термина, обозначающего новое понятие, есть установление его смысла при помощи других терминов, которые предполагаются известными.

1. *Специальные термины* в математике бывают двух видов. Некоторые из них считаются первоначальными и не подлежащими определению. Другие считаются производными и должным образом определяются, т. е. смысл их устанавливается при помощи первоначальных и ранее определенных понятий. Так, например, мы не даем логических определений таким первоначальным понятиям, как точка, прямая и плоскость[6]. Напротив, такие понятия, как

[6] Взгляд на эти понятия претерпел со времен Евклида существенные изменения. Евклид и его последователи в античной Греции определяли точку, прямую и плоскость. Однако их «определения» едва ли являются логическими определениями; это, скорее, лишь известного рода интуитивные иллюстрации рассматриваемых понятий. В преподавании такие иллюстрации, конечно, допустимы и даже желательны. (Примечание автора. – *Ред.*)

«биссектриса угла», «окружность», «парабола», вводятся при помощи логических определений.

Определение последнего из приведенных понятий может быть сформулировано следующим образом.

Параболой называется геометрическое место точек, равноудаленных от данной точки и данной прямой. Эта точка называется *фокусом* параболы, а прямая – *директрисой* параболы. Здесь подразумевается, что все эти элементы принадлежат одной и той же плоскости, причем данная точка (фокус) не лежит на данной прямой (директрисе).

Предполагается, что читателю не известен смысл определяемых терминов (парабола, ее фокус, ее директриса). Однако предполагается, что ему известен смысл всех других терминов (точка, прямая, плоскость, расстояние между двумя точками, геометрическое место и т. д.).

2. *Определения, приводимые в толковых словарях*, внешне мало отличаются от математических определений, но принцип их составления совершенно иной.

Составителя словаря интересует, прежде всего, общепринятый смысл слов. Этот общепринятый смысл *принимается* им как нечто известное и облекается им в форму определения.

Математика не интересует общепринятый смысл некоторого специального термина (во всяком случае, не это интересует его в первую очередь).

Для него довольно безразлично, что могут в обычной речи означать «окружность», «парабола» или любой другой специальный термин подобного рода. Математическое определение *создает* смысл математического термина.

3. *Пример.* Построить точку пересечения данной прямой и параболы, заданной своим фокусом и директрисой.

Наш подход к любой задаче должен зависеть от состояния наших знаний. Подход к только что сформулированной задаче зависит главным образом от того, насколько мы знакомы со свойствами параболы.

Если нам известно много фактов относительно свойств параболы, мы пытаемся извлечь пользу из наших сведений: *Не знаете ли вы теоремы, которая могла бы оказаться полезной?*

Известна ли вам какая-нибудь родственная задача? Если наши сведения о параболе, фокусе, директрисе довольно скудны, то эти термины скорее сбивают нас с толку. Мы, естественно, хотим освободиться от них. Но как можно от них избавиться? Прислушаемся к диалогу, происходящему между учителем и учащимся, которые заняты поисками решения задачи о пересечении прямой и параболы.

Они уже выбрали *подходящие обозначения*: P – какая-нибудь из искомых точек пересечения; F – фокус; d – директриса, c – прямая, пересекающая параболу.

«Что неизвестно?»

«Точка P».

«Что дано?»

«Прямые c, d и точка F».

«В чем состоит условие?»

«P есть точка пересечения прямой c и параболы с фокусом F и директрисой d».

«Правильно. Вам не приходилось, как мне известно, много заниматься изучением свойств параболы, но, вероятно, вы сможете объяснить, что же такое “парабола”?»

«Парабола есть геометрическое место точек, равноудаленных от фокуса и директрисы».

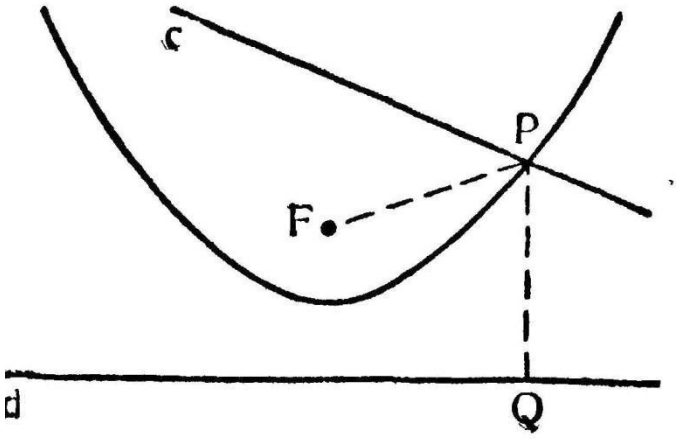
«Верно. Вы правильно сформулировали определение. Но этого мало; нужно его использовать. *Вернитесь к*

определениям. Что вы можете сказать об искомой точке *P*, опираясь на определение параболы?»

«*P* лежит на параболе. Поэтому *P* равноудалена от *d* и от F».

«Прекрасно. *Сделайте чертеж!*»

Ученик проводит на чертеже (фиг. 17) отрезки *PF* и *PQ*, причем *PQ* есть перпендикуляр, опущенный из *P* на *d*.



Фиг. 17.

«Нельзя ли теперь *иначе сформулировать задачу*?»...

«Не могли бы Вы сформулировать задачу по-иному, используя отрезки, которые только что построены?»

«*P* есть такая точка прямой *c*, что *PF* = *PQ*».

«Хорошо. Но объясните словами: что такое *PQ*?»

«Расстояние точки *P* от прямой *d*».

«Верно. Теперь-то вы, очевидно, сможете сформулировать задачу по-новому. Но, пожалуйста, тщательно, при помощи законченного предложения».

«Найти точку *P*, лежащую на данной прямой *c*, равноудаленную от данной точки *P* и данной прямой *d*».

«Сравните первоначальную формулировку задачи и новую формулировку. Первоначальная формулировка была полна незнакомых специальных терминов, таких, как “парабола”, “фокус”, “директриса”; она звучала немного напыщенно и высокопарно. Теперь не осталось и следа от этих незнакомых специальных терминов; вы устранили их из формулировки задачи. Прекрасно!»

4. *Исключение специальных терминов* явилось результатом работы, описанной в предыдущем примере. Отправившись

от формулировки задачи, содержавшей некоторые специальные термины (парабола, фокус, директриса), мы в конце концов пришли к новой формулировке, свободной от таких терминов.

Чтобы устранить из формулировки задачи некоторый специальный термин, мы должны знать его определение.

Однако одного этого знания мало; определение нужно использовать.

Так, в предыдущем примере недостаточно было вспомнить определение параболы. Решающий шаг состоял во введении отрезков PF и PQ, равенство которых следовало из определения параболы. Это типичный прием. Мы присоединяем к уже имеющимся объектам некоторые новые, выбранные подходящим образом. Пользуясь определением, мы устанавливаем соотношения, связывающие вновь введенные элементы. Если эти соотношения полностью определяют смысл рассматриваемого понятия, это означает, что определение нами использовано. Этим самым мы устранили специальный термин.

Описанный прием может быть назван *возвращением к определениям*.

Возвращаясь к определению некоторого специального термина, мы освобождаемся от этого термина, вводя вместо него некоторые новые элементы, связанные определенными соотношениями.

Происходящее при этом изменение в нашем восприятии задачи может оказаться существенным. Во всяком случае, важно помнить, что любая новая формулировка, как вообще любое видоизменение задачи, может приблизить нас к ее решению.

5. *Определения и известные теоремы.* Если мы слыхали термин «парабола», имеем некоторое приблизительное

понятие о форме этой кривой, но этим и ограничиваются наши познания, то они, конечно, недостаточны, чтобы при их помощи решить рассмотренную выше в виде примера задачу, так же как и любую другую серьезную геометрическую задачу, связанную с параболой. Какой же уровень знаний необходим для этой цели?

Геометрия как наука строится из аксиом, определений и теорем.

Понятие «парабола» не упоминается в аксиомах геометрии, в которых идет речь лишь о таких первоначальных понятиях, как «точка», «прямая» и т. д. Любое геометрическое рассмотрение, связанное с параболой, решение любой задачи, в которой идет речь о параболе, предполагают использование либо определения параболы, либо некоторых теорем об этой кривой. Решая подобную задачу, мы должны знать, по крайней мере, определение, хотя лучше иметь в своем распоряжении и несколько теорем.

То, что мы сказали в отношении параболы, верно, конечно, в отношении любого другого производного понятия. Приступая к решению задачи, связанной с подобным понятием, мы еще не можем сказать, что окажется удобнее в процессе решения: определение понятия или некоторая теорема, связанная с ним; однако ясно, что нам предстоит использовать либо одно, либо другое.

В некоторых случаях, конечно, мы не имеем выбора. Если нам известно лишь определение понятия и ничего более, мы вынуждены использовать это определение. Если наши познания ограничиваются определением понятия, то лучшее, что мы можем сделать, – это вернуться к определению. Однако если мы знаем много теорем, связанных с данным понятием, и обладаем достаточным опытом в оперировании им, то имеется вероятность, что мы

найдем теорему, выясняющую интересующие нас свойства рассматриваемого понятия.

6. *Различные определения*. Сфера обычно определяется как геометрическое место точек, равноудаленных от данной точки (в этом определении имеются в виду точки пространства, а не точки плоскости, как это было в предыдущем примере). Однако сферу можно определить и по-другому, например, как поверхность, описываемую окружностью, вращающейся относительно своего диаметра. Известны и другие определения сферы.

Решая задачу, связанную с некоторым производным понятием, таким, как «сфера» или «парабола», и желая вернуться к его определению, мы должны остановиться на каком-либо одном определении из нескольких возможных. В подобном случае выбор подходящего определения может иметь большое значение.

Найдя площадь поверхности сферы, Архимед решил весьма важную и по тем временам чрезвычайно трудную задачу; Архимед должен был сделать выбор между различными определениями сферы, перечисленными выше. Он нашел удобным понимать под сферой поверхность, образованную вращением окружности относительно своего диаметра. При этом он вписал в эту окружность правильный многоугольник с четным числом сторон, две противоположные вершины которого совпали с концами упомянутого диаметра. Этот правильный многоугольник аппроксимирует исходную окружность; вращаясь вместе с ней, он порождает выпуклую поверхность, состоящую из двух конусов, вершины которых совпадают с концами рассматриваемого диаметра окружности, и ряда усеченных конусов. Эта поверхность, составленная из кусков конических поверхностей, аппроксимирует сферу. Архимед, рассматривая эту

поверхность, получает возможность вычислить площадь поверхности сферы. Если бы мы под сферой понимали геометрическое место точек, равноудаленных от центра, это определение не могло бы столь естественно навести нас на мысль о возможности описанной простой аппроксимации.

7. Возвращение к определениям, играя важную роль в процессе решения задачи, они не менее важны и при проверке решения.

Пусть некто объявляет о найденном им новом решении задачи Архимеда о вычислении площади поверхности сферы. Если он имеет лишь смутное представление о том, что такое сфера, в его решении мы напрасно будем искать какой-либо толк.

Пусть он даже имеет ясное представление о том, что такое сфера, но если при решении задачи он не использовал известных ему свойств сферы, мы не можем сказать, знает ли он вообще хоть что-нибудь о сфере. Такое решение никуда не годится.

Поэтому, знакомясь с ходом решения, мы ждем момента, когда о сфере будет сказано что-либо по существу, т. е. будет использовано либо определение сферы, либо какая-нибудь теорема о сфере. Если такой момент не наступает, решение никуда не годится.

Таким же самым образом следует проверять не только чужие, но, конечно, и свои собственные решения.

Приняты ли вами во внимание все существенные понятия, содержащиеся в задаче? Как вы использовали эти понятия? Воспользовались ли вы содержанием этих понятий, следующим из их определений? Применили ли вы какие-либо существенные факты, известные теоремы, связанные с этими понятиями?

Важность возвращения к определениям при проверке законности некоторого рассуждения подчеркивалась еще

Паскалем, установившим правило «Substituer mentalement les definitions a la place des definis», что означает «подставить мысленно определения вместо определяемых терминов». Важность возвращения к определениям при построении некоторого рассуждения подчеркивалась и Адамаром.

8. Возвращение к определениям есть важный мыслительный процесс. Если мы хотим понять, почему столь важны определения слов, надо сначала осознать, как важны сами слова. Мы едва ли смогли бы мыслить, не прибегая к помощи слов, или знаков, или тех или иных символов.

Поэтому слова и знаки обладают известной силой. Первобытные народы приписывают им магическую силу. Мы можем понять подобные верования, но мы, конечно, далеки от того, чтобы разделять их. Нам следует знать, что сила слов заключается не в их звуках, не в «vocis flatus», т. е. не в дуновении воздуха, производимом говорящим, а в понятиях, о которых слово напоминает, и, в конечном счете, в фактах, на которых зиждутся эти понятия.

Поэтому разумным является стремление искать смысл и факты, заключенные в словах. Возвращаясь к определениям, математик стремится познать действительные отношения между математическими объектами, скрытые за специальными терминами, так же точно, как физик стремится за специальными терминами увидеть определенные эксперименты или как обыкновенный человек, обладающий некоторой долей здравого смысла, склонен принимать в расчет лишь факты и не дать одурачить себя просто словами.

ТЕМА 4. ОШИБКИ

Все люди постоянно делают огромное количество ошибок, и это нормально. Принято считать, что 80 % ошибочных управленческих решений – это показатель хорошего менеджера.

Однако хотя всем понятно, что и в исследовании, как в любом виде человеческой деятельности, ошибки неизбежны, их обнаружение кем-то другим компрометирует исследователя как никого другого, а своевременное обнаружение собственных ошибок самим исследователем имеет огромную ценность. Хорошо понятно почему. Чтобы причины такой придирчивости стали очевидны, достаточно вспомнить признаки научности – их комплекс составлен так, чтобы исключить саму возможность ошибок.

Попробуем разобраться, как минимизировать (а в небольшом по объему исследовании, возможно, и совсем исключить) ошибки.

Какие бывают ошибки? Если попробовать составить классификацию, опираясь на языковой узус, список получится впечатляющим (в нем будут и роковые ошибки в том числе, и непростительные, и многие-многие другие). Вообще говоря, то, какое языковое богатство направлено на выражение этих смыслов, – это довольно полезное знание, но не о природе ошибок, а о русской языковой картине мира. Нам же стоит отобрать для рассмотрения то, что действительно является отдельными типами ошибок и касается при этом области научных исследований.

1. В научном исследовании, разумеется, могут быть **языковые и речевые ошибки**. Языковые ошибки – это грамматические (слова употреблены в неправильных формах или

грамматически не допустимых сочетаниях), синтаксические (предложение составлено неверно), лексические (слова употреблены в неверных значениях или сочетаются не допустимым по смыслу образом, используются вообще несуществующие слова, построенные по неверным моделям), орфографические (слова написаны неправильно), пунктуационные (неправильно расставлены знаки препинания). В письменном тексте орфоэпическую ошибку допустить невозможно (во всяком случае, если она будет допущена, то допустит ее тот, кто читает, а не тот, кто пишет). Речевыми ошибками принято называть стилистические. Это не совсем верно с лингвистической точки зрения, но, в общем, не настолько неверно, чтобы стоило пытаться изменить сложившуюся практику.

По сути дела, эти знания вам нужны с единственной целью, чтобы в случае, когда вы захотите указать кому-либо на ошибку, правильно ее назвать, так как ошибка в указании на ошибку дает козыри в руки тому, кого вы критикуете, даже если делаете это совершенно справедливо.

Полезно точно понять разницу и не путать грамматические ошибки (безопасность ресурсом) с орфографическими (безопастность), а синтаксические (пробегая мимо городового, с меня слетела шляпа) с пунктуационными (когда я пробегал мимо городового с меня, слетела шляпа).

Хочется предположить, что такие ошибки возможны только в исследовании как результате, в научном тексте. Действительно, *возникают* они именно там. Однако, не будучи обнаруженной вовремя, языковая ошибка может направить по ложному пути и процесс исследования – это мы наблюдали, разбирая аксиомы в теме «Определения», где двойственность интерпретации грамматической и синтаксической конструкции позволяла построить практически противоположные гипотезы относительно аксиоматики целой фундаментальной теории.

Для того чтобы допускать как можно меньше (а находить – как можно больше) ошибок этого типа, надо как можно больше читать и писать. И желательно обращаться к услугам корректоров, они, как правило, доступны по цене.

2. Следующий вид ошибок – если первый был «по русскому» – будет «по математике». Это **арифметические ошибки**. Арифметическими принято называть ошибки вычислений любой сложности. Арифметическую ошибку можно определить как результат неверного применения правил арифметики, например, получение неправильного итога при сложении, вычитании, умножении, делении. Но к арифметическим ошибкам не относится неверное применение формул или верное применение формул, но использование в них неверных значений. Допустим, вычисляя стоимость работы без НДС из стоимости с НДС 6,5 млн, можно поступить так: разделить 6,5 млн на 100, умножить на 20 и вычесть произведение из 6,5 млн. Будет ли это арифметической ошибкой?

Нет, несмотря на то, что дело касается вычисления, это ошибка методическая – считающий ошибся в том, *как вычислять*, а не в том, «сколько будет».

Можно ошибиться иначе – использовать значение НДС равное 18%, как было до последнего времени. Результат тоже будет ошибочный. Будет ли это арифметической ошибкой? Нет, такая ошибка также будет методической – применен неверный параметр.

Наконец, можно, казалось бы, действовать совсем верно – разделить 6,5 млн на 120 и умножить частное на 100. Но при этом ошибиться при вычислении этого самого частного. Эта ошибка – арифметическая, считающий ошибся в делении.

Целесообразно отличать арифметические ошибки еще от одного вида, который я не выношу в отдельный тип, так как он имеет совершенно другую природу – он не связан с заблуждениями. Это описки или опечатки. Если при изложении в тексте автор случайно пропустил ноль, или минус, или запятую – прекрасно зная, что «имел в виду», то в зависимости от места, в котором оказалась эта неверная запись, и еще от огромного числа случайных причин такой промах может не повлиять решительно ни на что, а может разрушить все последующее построение (так может случиться, например, если опечатка вкралась в результат, который потом без

перепроверки (ведь автор уверен, что все правильно) взят за основу дальнейших расчетов и выкладок).

Итак, за опиской (опечаткой) не стоит заблуждение, однако она может послужить причиной дальнейших неверных рассуждений, причем причину разрушения будет очень сложно установить, поскольку опечатка носит случайный характер, ее можно только высмотреть.

Пример, не имеющий отношения к расчетам, однако очень наглядный – когда программист путает «с» (эс) и «с» (си). Эту опечатку практически невозможно заметить, так как буквы выглядят одинаково и находятся на одной кнопке клавиатуры.

3. **Фактические ошибки** – как и следует из названия – это заблуждения относительно фактов. Как правило, это заблуждение насчет того, имел ли место факт. Если ошибочна его интерпретация либо интерпретация его последствий или причин, то это уже методические или методологические ошибки. Фактической ошибкой является также заблуждение насчет того, когда именно имел место факт. Однако только в том случае, когда эта дата является «вещью в себе» (надо сказать, методологической ошибкой будет вообще упоминание дат, если они не задают никаких логических рядов, но иногда мы это делаем, просто чтобы подчеркнуть, что что-то было «давно» или, наоборот, «недавно»). Если же ошибочная дата влияет на последовательность событий, нарушая ее, то такая ошибка будет уже хронологической.

Эта граница не всегда принципиально важна, и вполне допустимо считать (и называть) хронологические ошибки фактическими, если это по какой-то причине удобнее.

Типичная же фактическая ошибка возникает тогда, когда мы, не в силах проверить факт, основываемся на его вероятности. Если ничто не противоречит тому, что факт мог произойти, и по последствиям похоже, что так и вышло, – предположение о том, что факт имел место, вполне объяснимо и допустимо. Но впоследствии могут появиться улики, проливающие свет на то, был ли он в самом деле. Например, если речь идет об историческом факте, появятся

археологические подтверждения или упоминание в письменном источнике.

Надо заметить, что довольно редко фактические ошибки оказываются критичными для исследования в целом, так как только весьма экстравагантные исследователи рискуют основываться на *возможных* фактах в основополагающих аспектах своего исследования. Однако иногда других вариантов просто нет.

Фактическая ошибка компрометирует исследователя больше или меньше – в зависимости от того, насколько в его силах было ее избежать. Если он имел возможность проверить факт, но не потрудился этого сделать – то, даже если ошибка оказывает довольно слабое влияние на выводы ученого, ущерб его репутации может быть довольно серьезным.

4. **Хронологические ошибки** – это ошибки в изложении (определении, установлении) порядка следования каких-либо событий. Вообще говоря, в строгом смысле хронологическую ошибку можно допустить только при историческом описании чего-либо. Как правило, если речь идет о перепутанном порядке, например, операций, то это будет не хронологическая ошибка, а фактическая (если речь идет о неверном описании какого-то процесса) или методическая (если речь идет о проведении каких-то исследовательских процедур самим исследователем).

Таким образом, хронологические ошибки вне исторических наук (история, история литературы, история научной мысли и прочие виды историй) допускаются обычно в истории вопроса – реферативной части исследования. Довольно редко они становятся критическими, так как маловероятно построение выводов именно на основании порядка высказывания или возникновения различных подходов. Если ли же вы вдруг собираетесь делать вывод как раз из этого, к проверке собственных знаний на предмет хронологических ошибок стоит отнестись более пристрастно.

5. **Методические ошибки** – это ошибки в применении методов исследования, в том числе и применение

неподходящего метода. С этим типом ошибок связана одна ментальная сложность – подчас сложно отличить новаторское применение метода от неверного.

Обойти это узкое место, однако, довольно просто (это вообще особенность *узких* мест в любом смысле): если вы применяете новый метод или метод, ранее не использовавшийся для данного типа задач, вы должны аргументировать его адекватность задаче. А если вы, наоборот, обнаружили, как вам кажется, методическую ошибку, а исследователь, попавший под ваши подозрения, пренебрег моим советом и применимость метода не обосновал – лучше проверьте себя, поставив на его место. Попробуйте обосновать применимость метода *за него*. Если обосновать применимость вы не сможете, а подвергнуть ее сомнению – сможете, то критика уместна. В противном случае – если все же сможете обосновать так, что это будет убедительно, в первую очередь для вас самих, – вы получите результат, который небезынтересен сам по себе и уж точно не менее важен, чем критика (поскольку конструктивный результат всегда имеет бóльшую ценность).

Примеры методических ошибок уже приведены выше, и надо сказать, что это один из самых распространенных типов ошибок в научных исследованиях. Именно таким ошибкам, к слову, наряду с методологическими, о которых речь пойдет ниже, посвящено эссе Р. Ф. Фейнмана «Наука самолетопоклонников» в той части, которая касается проведения экспериментов.

В общем случае экспериментальная часть исследования – это наиболее очевидная область, в которой методические ошибки абсолютно критичны. Однако это настолько очевидно, что более-менее сознательные исследователи как раз таки в экспериментальной части особенно внимательны к методике и ошибок не допускают.

Обнаруженная методическая ошибка в экспериментальной части критикуемой работы практически гарантирует компрометацию исследования и исследователя.

Коротко остановлюсь на применении в данном контексте понятий «метод» и «методика». Эти слова, вообще говоря,

относятся к проблемным, поскольку многозначны и обычай их употребления в научном дискурсе, к сожалению, сложился не очень удачно – в нем тесно переплетены различные значения этих слов и система выстраивается плохо. Мы это рассмотрим в соответствующей теме достаточно подробно, чтобы избежать очевидных языковых ловушек.

Здесь же достаточно одного уточнения: *методика* означает описание способа решения задачи (то есть последовательности действий, приводящих к успешному результату) в виде пошагового алгоритма, легко воспроизводимого любым или почти любым субъектом. А *метод* – это достаточно обобщенный механизм решения точно описанного класса задач. Пример метода – «доказательство от противного». Метод включает в себя различные способы, описываемые методиками. Для разных задач доказательство от противного будет осуществляться разными способами. Рассказ учительницы классу о том, как применить доказательство от противного к данной теореме, – методика.

6. **Ошибки чувственного восприятия** – очень романтично звучащий тип ошибок, означающий всего лишь то, что все врут, включая наши собственные ощущения. Ошибка чувственного восприятия – считать, что вдали дорога сужается, что по мере удаления от берега корабль тонет и аналогичное.

Казалось бы, вероятность такого рода ошибок для ученого практически исключена. Однако прислушайтесь к себе. У вас точно не возникает колебаний при ответе на вопрос, что тяжелее – килограмм пуха или килограмм железа?

Ошибки чувственного восприятия чаще всего встречаются в экспериментальной части исследований, когда исследователь какие-то параметры определяет «на глаз», поскольку они кажутся очевидными. Самый наглядный пример такой ошибки – эксперимент, подтверждающий, что таракан слышит ногами. Берем таракана, ставим на стол, стучим по столу, таракан убегает. Отрываем по одной таракану ноги – с каждым разом таракан реагирует на стук все менее оперативно – видимо, слышит все хуже. Отрываем все ноги, стучим по столу, таракан никуда не убегает – оглох.

7. **Логические ошибки** – это ошибки рассуждения, установление ложных связей между понятиями или суждениями. В конечном итоге все они восходят к нарушению законов логики, но, на мой взгляд, нет необходимости восстанавливать («разматывать») ход рассуждения каждый раз до закона логики, чтобы обнаружить ошибку. В курсе прикладной риторики я предлагала более экономный путь проверки логики – нарисовать соотношение объемов понятий (суждение надо свести к понятию, если проверяем связь между суждениями, а не понятиями) и проверить, является ли это соотношение истинным или ложным для того типа суждения, к которому относится проверяемое.

Вот фрагмент раздела «Логика» учебника по прикладной риторике [Конявская], который позволит вспомнить этот способ.

Конявская С. В. Прикладная риторика для специалистов по защите информации. С. 71–76; 175–176.

Помимо *содержания* (совокупности необходимых и достаточных признаков предмета), у понятия есть *объем*.

Объем понятия – это все те объекты, которые описываются совокупностью его характеристик.

То есть если содержание понятия «дом» – это ‘постройка, являющаяся постоянным местом проживания человека’, то объем этого понятия – *все* постройки, являющиеся постоянным местом проживания людей (то есть все дома).

Именно поэтому понятие обозначается окружностью: ◯.

Множество точек, ограниченное этой окружностью, – объем понятия. Единичные понятия, то есть такие, объем которых составляет только один объект (например, понятие «Михаил Васильевич Ломоносов»), изображаются точкой: • .

Именно на основании объемов устанавливаются соотношения понятий.

Итак, в первую очередь понятия делятся на **сопоставимые** и **несопоставимые**.

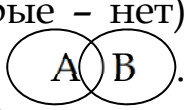
Сопоставимые понятия делятся на **совместимые** и **несовместимые**.

Совместимые понятия делятся на ***равнозначные***, ***подчиненные*** и ***перекрещивающиеся***.

Равнозначные понятия – это понятия, объемы которых полностью совпадают, например: «равносторонний треугольник» и «равноугольный треугольник» (все равносторонние треугольники являются одновременно равноугольными, и наоборот), «человек, который открыл закон земного притяжения» и «Исаак Ньютон» (это один и тот же человек) и т. п. Изображаются равнозначные понятия так: (АВ).

Подчиненными понятия называются тогда, когда объем одного из них полностью включен в объем второго. Например, «студенты» и «студенты МФТИ». Известный пример, ставший афоризмом: «всякая селедка – рыба, но не всякая рыба – селедка». Кстати, это и есть отношения «род/вид». Изображаются подчиненные понятия так:

.

Перекрещивающиеся понятия – это понятия, объемы которых «перекрещиваются», образуя область, общую для обоих понятий, и области, в которых объемы этих понятий не совпадают. Например, «динозавры» и «хищники», «птицы» и «летающие» (некоторые динозавры хищники, а некоторые – нет, некоторые хищники – динозавры, а некоторые – нет). Изображаются перекрещивающиеся понятия так: 

.

Несовместимые понятия делятся на ***соподчиненные***, ***противоречащие*** и ***противоположные***.

Соподчиненные понятия – это такие понятия, объемы которых не пересекаются, но полностью включены в какое-то третье понятие. Например, «шпага» и «пистолет» – понятия, объемы которых связаны через подчиненность объему понятия «оружие». Или «вирус» и «червь» – и то, и другое является проявлением понятия «вредоносная компьютерная программа», их объемы полностью входят в объем этого общего для них понятия, а внутри него они не пересекаются. Изображается это так:

.

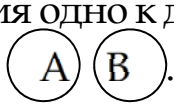
Разница между ***противоположными*** и ***противоречащими*** понятиями достаточно тонкая, но, тем не менее, ощутимая.

Противоречащие понятия – это такие понятия, объем каждого из которых полностью исчерпывает все, что не попадает в объем другого. Например, «живое» и «неживое». Все, что не живое, – неживое. Изображается это так:

.

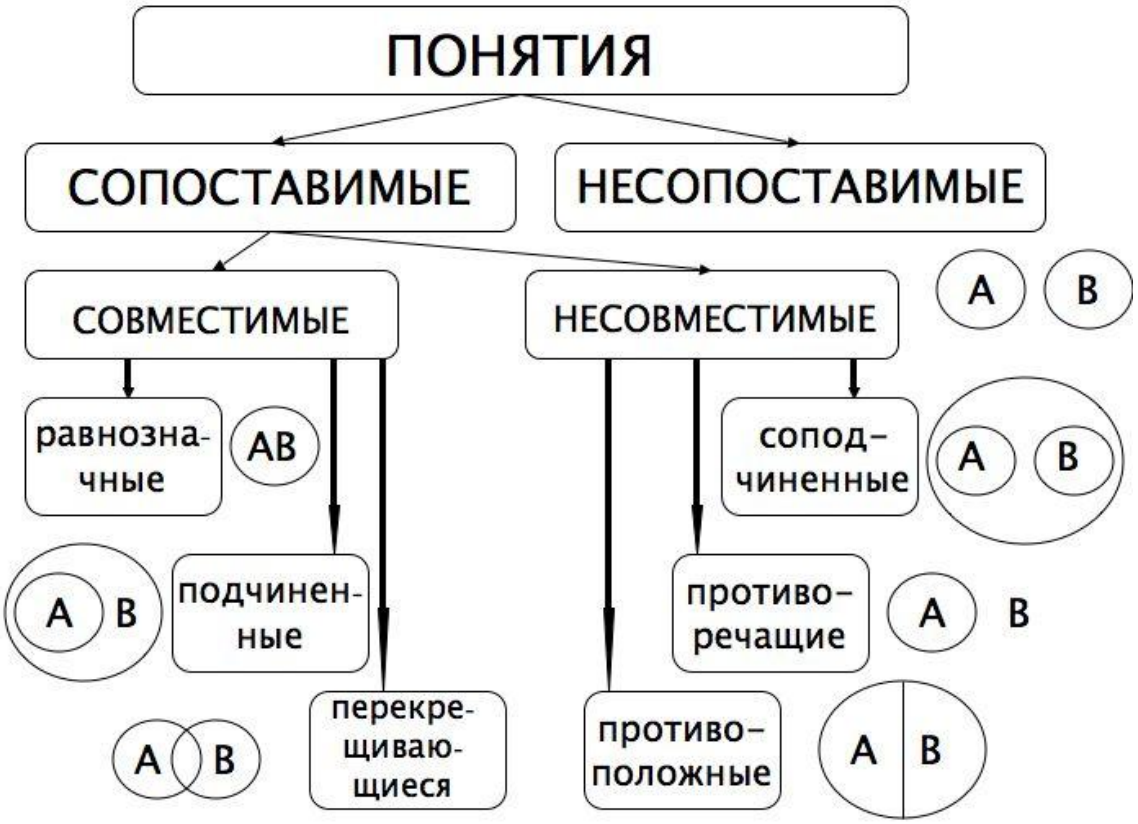
Важно не путать эту пару с парой «живое» и «мертвое» – это как раз пара ***противоположных*** понятий. Не все, что не живое, – мертвое. Но все, что может быть живым либо мертвым, делится между объемами этих понятий. Изображается это так:

.

Несопоставимые понятия – это такие понятия, которые вообще не имеют одно к другому никакого отношения, например: «дом» и «блеск» – они не противоположны, не соподчинены никакому понятию и не подчинены одно другому, не противоречат одно другому, не пересекаются и не равнозначны. Они просто не имеют отношения одно к другому. Изображаются несопоставимые понятия так: 

.

Поскольку система соотношений понятий достаточно разветвленная, ее имеет смысл отобразить в виде схемы.



Задачи на соотношения объемов понятий приведены в *Приложении*.

Характеристика, аналогичная объему понятия, есть и у суждений. Для того чтобы понять ее суть, достаточно проанализировать, верно ли утверждение, что все бабы – дуры. Думается, что каждый интеллигентный человек согласится, что нет, это не верно. Однако вряд ли кто-то рискнет утверждать, что ни одна баба – не дура. Как же так, если, как мы знаем, из двух отрицающих друг друга суждений одно должно быть непременно верным?

Ответ обнаруживается достаточно просто: «все» и «ни одна» находятся в отношениях соподчинения, а не противоречия. В отношениях же противоречия к «все» находится «не все», или «некоторые». Соответственно, суждением, отрицающим суждение «все бабы – дуры», является суждение «не все бабы – дуры» (или комплекс суждений «некоторые бабы – дуры» и «некоторые бабы – не дуры», поскольку «некоторые» в логике – это «хотя бы один»).

Итак, мы приходим к тому, что суждение может быть

- общим или частным,

- утвердительным или отрицательным.

То есть всего типов суждений 4:

1. *Общеутвердительные* – «все S есть P» – S*a*P (все млекопитающие – живородящие);

2. *Частноутвердительные* – «некоторые S есть P» – S*i*P (некоторые спортсмены – чемпионы Олимпийских игр);

3. *Частноотрицательные* – «некоторые S не P» – S*e*P (некоторые птицы не летают);

4. *Общеотрицательные* – «ни один S не P» – S*o*P (ни одна курица не несет золотые яйца).

a, *i*, *e* и *o* – это кванторы, использующиеся в логике для указания на тип суждения.

Если выделяются типы чего-либо, значит, это кому-нибудь нужно. Типы суждений нам нужны для того, чтобы

логически устанавливать истинность или ложность того или иного суждения.

Для этого необходимо определить тип суждения, нарисовать схему соотношения объемов S и P, а после этого составить суждение того же типа с S и P, соотношение объемов которых такое же, но при этом они очевидны настолько, что определить истинность или ложность суждения не составит труда. Если суждение окажется истинным, то истинно и то суждение, которое является предметом наших сомнений, если ложно – то ложно. Сработает это, однако, только в том случае, если мы в состоянии правильно нарисовать схему соотношений объемов S и P.

Для того чтобы не проделывать этого каждый раз, можно составить «таблицу истинности/ложности» или заполнить ту, что уже приведена в *Приложении*. В любом случае это будет полезно как тренировка.

Очень важно, однако, понимать, что *логически* можно установить истинность/ложность, например, суждения «король Франции лыс», только если мы *знаем*, что во Франции нет короля, это республика, и, значит, «король Франции» – понятие с нулевым объемом. А вот истинность/ложность суждения «король Испании лыс» установить без *знания* о том, есть ли волосы у короля Испании (даже если мы знаем, что он точно существует), мы не сможем, это вопрос эрудиции, а не логики. Точно так же, не зная, есть ли во Франции король, мы не сможем определить истинность/ложность и первого суждения, поскольку просто не сможем нарисовать схему соотношения объемов понятий.

Другими словами, мы можем логически установить истинность или ложность только того суждения, которое касается понятий, известных нам настолько, чтобы

нарисовать схему соотношения их объемов. И степень установленности научной истинности в данном случае второстепенна.

Предположим, у нас есть суждение «некоторые русалки – птицы». Мы можем не быть до конца уверены в том, точно ли русалок вообще нет, но, если мы себе русалку как-то представляем, мы можем судить, может ли она быть птицей.

Если же речь идет о каком-то вовсе незнакомом понятии, например, «некоторые фузии – птицы», то мы не можем установить его истинность или ложность, поскольку, вполне может статься, что хотя бы одна фузия – все-таки птица[1].

Поэтому ожидать от логики слишком многого не стоит, она не заменит ни специальных знаний, ни общего культурного фона, однако ориентироваться на логику необходимо обязательно при любой работе с текстом – как с публичной речью, так и с научными или методическими произведениями словесности. <...>

С. 175–176

2. Истинные и ложные суждения

Задание 6.

Заполните таблицу истинности/ложности суждений. По вертикали расположены схемы возможных соотношений объемов понятий, выраженных субъектом (S) и предикатом (P) суждений, а по горизонтали расположены типы суждений. Если суждение данного типа с данным соотношением объемов понятий – истинно, ставьте в ячейку таблицы *И*, если ложно – *Л*. С помощью подстановки различных суждений с одинаковым соотношением объемов

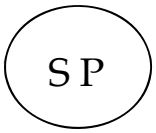
[1] На самом деле *фузия* – это тип морфологического строения языка, и ни одна фузия – не птица.

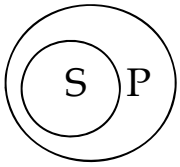
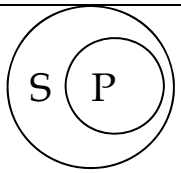
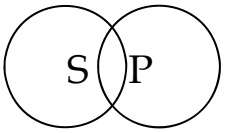
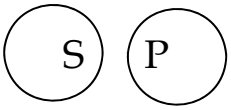
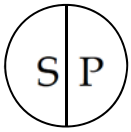
понятий S и P убедитесь, что значения в каждой ячейке таблицы постоянны.

Пример:

S – человек, говорящий правду

P – отрицает, что он гусь



	S*a*P	S*i*P	S*o*P	S*e*P
	И	И	Л	Л
				
				
				
				
				

<...>

Напомню, что помимо определения истинности/ложности суждений мы использовали рисование схем соотношений понятий и субъекта с предикатом, в частности для проверки правильности изобретения в наших речах. Предложение, положение и топос (общее место) должны не только быть верны, но и соотноситься определенным образом: у компонентов тезы (предложения и положения) должен быть общим или субъект, или предикат, а также они должны быть одинаковы по типу суждения (желательно совсем, но хотя бы на уровне общее/частное), а топос должен быть суждением того же типа и с тем же соотношением субъекта и предиката, что и один из компонентов тезы (или предложение, или (желательно) положение).

Этот прием – проверка через соотношение объемов понятий – звучит проще, чем есть на самом деле, так как переформулировка проверяемой идеи таким образом, чтобы ее можно было *нарисовать*, – это не всегда тривиальная задача, однако тренировкой можно выработать вполне сносный навык и со временем обходиться даже без рисования. В рамках прошлой темы мы с вами делали именно эту процедуру, сводя полстраницы научного текста к схеме «процесс Y есть изменение состояний системы, образованной процессом Y».

Отдельно хочу остановиться на том, что именно логическими ошибками являются заявления, дескать, «информационная безопасность – это комплекс организационных и технических мер» или «целостность – одно из трех основных свойств безопасности». Очевидно, что безопасность – это не меры, а состояние, а целостность – не свойство безопасности, так как целой является не безопасность, а явно что-то другое.

Это ошибки не языковые, а именно логические, потому что дело не в том, что «так нельзя сказать», а в том, что отношением тождества соединены принципиально разные сущности, то есть ошибочно установлены связи между понятиями. Этих ошибок не допускают те, кто взял за правило в уме всегда проверять соотношение объемов понятий.

Логическим ошибкам и способам их выявления посвящена крайне интересная книга А. И. Уемова [23], которая настоятельно рекомендуется для самостоятельного прочтения – будучи практически полезной, она представляет собой в то же время весьма занимательное чтение.

8. **Методологические ошибки** – это ошибки применения научного подхода к исследованию или его изложению. Методология – это общие подходы к решению широкого класса задач. Фактически современным научным подходом (и, соответственно, научной методологией) является следование тем принципам, которые мы с вами разобрали на первом занятии и к которым постоянно возвращаемся.

Типичный пример методологической ошибки, допускаемой в дипломных работах, – отсутствие корреляции между поставленными задачами и полученными результатами.

Методологической ошибкой является использование дискуссионного термина без определения, нарушения единого уровня классификации, аргументация актуальности через новизну, приведение сведений, не имеющих отношения к предмету исследования, сужение или расширение предмета исследования, подмена задач, отсутствие постановки задач или выводов (включая и подмену выводов обобщением, если только оно не было объявлено задачей исследования), игнорирование истории вопроса etc. Словом, несоблюдение рекомендаций этого курса – методологическая ошибка.

9. **Системные ошибки** – это ошибки, связанные с нарушением представлений об основных понятиях системы (напомню, система – это элементы, их отношения и среда), но не любые, а такие, которые приводят к ошибочному представлению системы целиком. Вообще говоря, неверное понимание каких-то из этих системообразующих компонентов должно создавать в представлении исследователя, по сути, просто другую систему, существующую по другим законам в другой среде. Иначе не может быть, на то это и система, в которой все взаимосвязано и взаимообусловлено.

Тут нужно уловить довольно тонкий момент: если исследователь заблуждается, то он всегда так или иначе заблуждается относительно элементов, связей или среды системы, так как научное познание предполагает рассмотрение предмета изучения обязательно именно как системы. Однако его заблуждение не всегда носит системный характер, а только в том случае, если он вписывает его в систему и подстраивает вольно или невольно всю систему или ее часть под свое заблуждение. Парадоксальным образом к системной ошибке приводит то же, что должно помогать ошибки исправлять: попытка устранить выявленное противоречие. Обнаружив противоречие, исследователь пытается его устранить путем пересмотра различных составляющих своей гипотезы, в том числе путем пересмотра системы. Например, вписав в систему лишний элемент, он начинает приписывать ему связи с другими элементами вместо того, чтобы, оценив отсутствие или принципиально иной характер связей, сделать вывод о том, что элемент чужеродный.

Это только на первый взгляд звучит дико, поскольку исследователю, естественно, не известно заранее, что он заблуждается, а пересмотр системы сам по себе – нормальный научный процесс.

Однако если исследователь достаточно добросовестен для того, чтобы довести анализ системных отношений до логического конца, то он неизбежно дойдет до той стадии рассуждения, когда системная ошибка станет явной.

Например, системной ошибкой является предположение, что тестировщик может (и даже должен) обнаруживать ошибки в программном обеспечении. Путем тестирования нельзя обнаружить ошибку, можно обнаружить ее проявления, поведение программы, отклоняющееся от описанного как нормальное. Казалось бы, разница просто в словах, однако они тянут за собой массу связанных ошибок – «обнаружив ошибку», тестировщик должен ее описать по определенным правилам, а затем программист должен ее исправить. Что именно он должен исправить? То, что описал тестировщик? Очевидно, что нет – программист исправляет что-то в коде программы. Выходит, если ошибка – это то, что описал

тестировщик, то программист исправляет не ошибку, а что-то другое, но это как-то приводит к тому, что ошибка пропадает. Это, в общем, выгодно программисту – получается, что ошибки он не допустил (что он исправлял, и вообще исправлял ли, или тут уместен другой глагол?), и в целом вся его деятельность получает какой-то мистический ореол.

Легко заметить, что системные ошибки очень близки к логическим. Это неспроста, разница между ними скорее практического, чем сущностного рода. Системная ошибка сложнее, ее может быть очень трудно выявить исключительно инструментами формальной логики. Но когда она уже выявлена, становится очевидно, что она «не логична».

Естественным способом устранения системной ошибки, с точки зрения основоположника системного подхода Джона Ван Гига [Ван Гиг], является проектирование системы заново (оппозиция, в рамках которой следует это воспринимать, «улучшение системы vs проектирование системы»). Пока есть какой-то базис, который по какой-то причине мы не подвергаем сомнению, мы не гарантированы от того, что ошибка (и это особенно вероятно для *системных*!) именно там, «*в проекте*», а не в его реализации.

Ван Гиг Дж. Прикладная общая теория систем. Фрагмент главы 1 «Системный подход: введение и примеры». С. 27–32.

Проектирование систем. Системный подход

Проектирование систем отличается от улучшения систем исходными посылками и используемыми методами (см. табл. 1.1).

Таблица 1.1

Сравнение двух методологий изменений: улучшения систем и проектирования систем

	Улучшение систем	**Проектирование систем**
Условия работы системы	Проект принят	Проект под вопросом
Объекты исследования	Субстанция Содержание Причины	Структура и процесс Метод Цель и функция
Парадигма	Анализ системы и подсистем (аналитический метод, или научная парадигма)	Проектирование системы в целом (системный подход, или системная парадигма)
Метод рассуждений	Дедукция и редукция	Индукция и синтез
Выход	Улучшение существующей системы	Оптимизация системы в целом
Методика	Определение причин отклонений реальной работы системы от запланированной (прямые издержки)	Определение различий между реальным и оптимальным проектом (вмененные издержки)

Основной акцент	Объяснение прежних отклонений	Прогнозирование будущих результатов
Подход	Интроспективный: от системы внутрь	Экстроспективный: от системы наружу
Роль планировщика	Ведомый: следует существующим тенденциям	Лидер: оказывает влияние на тенденции

При улучшении систем возникающие вопросы связаны с обеспечением нормальной работы уже существующих систем. В то же время системный подход является в своей основе методологией проектирования систем, поэтому при его использовании ставится под сомнение сам характер данной системы и ее роль в рамках более широкой системы. Первый вопрос, который возникает при системном подходе, – это цель существования системы. Необходимо установить отношения между данной системой и всеми другими системами, в которые она входит или с которыми она связана. Системный подход в данном случае называют *экстроспективным,* так как анализ направлен от системы к ее окружению (*наружу)* в отличие от метода улучшения систем, который является *интроспективным* – рассмотрение направлено *внутрь* системы. Мы уже говорили, что улучшение систем основано на аналитическом методе, когда условия работы данной системы и соответствующих элементов изучаются методами *дедукции* и *редукции,* чтобы определить причину отклонений от нормы. При системном подходе идут от частного к общему, а проект наилучшей системы определяется методами *индукции* и *синтеза.*

Проектирование системы в целом означает создание оптимальной конфигурации (структуры) системы. Сейчас мы не будем объяснять, каким образом можно достичь оптимума. Достаточно сравнить ограниченные возможности метода улучшения систем с неограниченными возможностями системного подхода.

Системный подход – это принцип исследования, при котором рассматривается *система в целом,* а не ее отдельные подсистемы. Его задачей является оптимизация системы в целом, а не улучшение эффективности входящих в нее подсистем. При улучшении системы ищут причины отклонений в рамках этой системы, не считая необходимым расширить эти рамки. Когда ставится цель привести систему к норме, первоначальные предпосылки и цели, лежащие в основе проекта этой системы, под сомнение не ставятся, хотя они могут быть неверными и устаревшими. При системном подходе ситуация обратная, здесь планировщик выступает в роли лидера, а не ведомого. Он пересматривает проект и конфигурацию системы, пытаясь устранить законодательные и территориальные барьеры, чтобы предотвратить действие побочных эффектов.

В противоположность методологии изменений, которую мы называем улучшением систем, системный подход является методологией проектирования, основывающейся на следующих положениях.

1. Проблема определяется с учетом взаимосвязи с *большими (супер) системами,* в которые входит рассматриваемая система и с которыми она связана общностью целей.
2. Цели системы обычно определяются не в рамках подсистем, а их следует рассматривать в связи с более крупными системами или системой в целом.
3. Существующие проекты следует оценивать величиной вмененных издержек или степенью отклонения системы от оптимального проекта.
4. Оптимальный проект обычно нельзя получить путем внесения небольших изменений в существующие принятые формы. Он основывается на планировании, оценке и принятии таких решений, которые предполагают новые и положительные изменения для системы в целом.
5. Системный подход и системная парадигма основаны на таких методах рассуждений, как индукция и синтез, которые отличаются от методов дедукции, анализа и редукции,

используемых при улучшении систем.

6. Планирование представляет собой процесс, в котором планировщик берет на себя роль лидера, а не ведомого. Планировщик должен предлагать решения, которые смягчают или даже устраняют, а не усиливают нежелательные воздействия и тенденции предыдущих проектов систем.

Чтобы пользоваться этими положениями, следует определить ряд понятий.

Понятия, характеризующие системы

Элементы

Элементы являются составными частями каждой системы. Они могут в свою очередь представлять собой системы, т. е. быть подсистемами. Элементы систем могут быть неживыми или живыми. Большинство систем, с которыми мы имеем дело, включают и те, и другие элементы. Элементы, поступающие в систему, называются *входными*, элементы, выходящие из нее, называются *выходными*.

Процесс преобразования

В организованных системах постоянно идет процесс преобразования, в ходе которого элементы изменяют свое состояние. В процессе преобразования входные элементы трансформируются в выходные. В организованной системе ценность и полезность входных элементов при этом увеличиваются. Если же в процессе преобразования ценность и полезность элементов уменьшаются, то затраты в системе увеличиваются, а ее эффективность уменьшается.

Входные элементы (входы) и ресурсы

Различие между входными элементами и ресурсами очень незначительно и зависит лишь от точки зрения и условий. В процессе преобразования входные элементы – это те элементы, которые потребляют ресурсы. Например, студенты, входящие в систему образования, являются *входными элементами*, в то время как преподаватели – это один

из ресурсов, используемых в процессе преобразования. В рамках большой системы студенты, получившие образование, преобразовываются в *ресурсы,* когда они становятся активными элементами общества. Вообще личный состав (преподаватели, обслуживающий и административный персонал), капитал (который обеспечивает землю, оборудование, помещение и снабжение), талант, квалификацию и информацию можно попеременно рассматривать как входные элементы или как ресурсы, используемые в системе образования. Определяя входные элементы и ресурсы систем, важно указать, контролируются ли они проектировщиком системы, т. е. следует их рассматривать как часть системы или как часть окружающей их среды (см. раздел ниже). При оценке эффективности системы входные элементы и ресурсы обычно относят к затратам.

Выходные элементы (выходы)

Выходные элементы представляют собой результат процесса преобразования в системе и рассматриваются как *результаты, выходы* или *прибыль.*

На рис. 1.1 представлена схема системы и ее окружения.

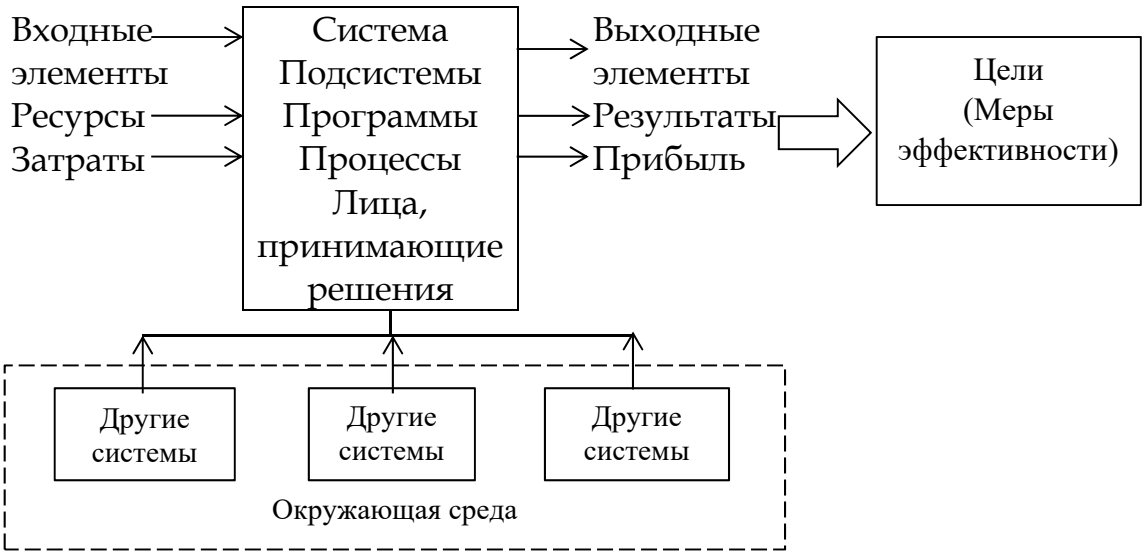


Рис. 1.1. Система, ее входы-выходы и окружающая среда

На ней показаны входные элементы, ресурсы и затраты, входящие в систему, и выходные элементы, результаты и прибыль, выходящие из нее.

Окружающая среда

Ниже мы подробно обсудим вопрос о том, как устанавливать границы системы и ее окружения. Здесь же достаточно сказать, что установление границ совершенно необходимо, когда мы изучаем открытые системы – системы, взаимодействующие с другими системами. Устанавливая границы, мы определяем, какие системы можно считать находящимися под контролем лица, принимающего решение, и какие остаются вне его влияния. Однако, как бы ни устанавливались границы системы, нельзя игнорировать ее взаимодействие с окружающей средой, ибо в этом случае принятые решения могут оказаться бессмысленными.

Назначение и функция

Неживые системы не имеют явного назначения. Они получают специфическое *назначение,* или наделяются *функцией,* когда вступают во взаимоотношения с другими подсистемами в рамках большой системы. Таким образом, связи подсистем между собой и с системой в целом очень важны при изучении систем. Вопросы, связанные с проблемами причинности и завершенности, здесь рассматриваться не будут, мы уделим им внимание в следующей главе.

Признаки

Системы, подсистемы и их элементы обладают *признаками (свойствами* или *характеристиками).* Признаки могут быть «количественными» или «качественными». В зависимости от такого деления определяется и подход к их измерению. «Качественные» признаки труднее определять и измерять, чем «количественные». Термин «признаки» иногда используют как синоним термина «мера эффективности»,

хотя признак и его меру следует различать. Проблемы, имеющие отношение к теории измерений, будут рассматриваться в гл. 8–10.

Задачи и цели

При проектировании систем первостепенное значение имеет определение их *задач* и *целей*. По мере того как мы отходим от абстрактных рассуждений, установление назначения системы становится более четким и рабочим. Мера эффективности показывает, в какой степени достигаются цели системы, и дает представление о количественной величине проявления признаков систем.

Компоненты, программы, задания

В целенаправленных системах процесс преобразования организуется с привлечением *компонентов*, *программ* или *заданий*, которые состоят из совместимых элементов, объединенных для достижения определенной цели. В большинстве случаев границы компонентов не совпадают с границами организационной структуры, и это очень важный момент при системном подходе.

Принятие решений

Действия и решения, которые имеют место в системе, являются прерогативой руководителей и других лиц, принимающих решение. Их обязанность – направлять систему на достижение поставленных целей. Нас в основном интересует изучение организаций и организованных систем, являющихся целенаправленными, т. е. систем, имеющих определенное назначение или функцию и ориентированных на получение одного или нескольких доступных наблюдениям и измерениям результатов.

Структура

Понятие *структуры* связано с упорядоченностью отношений, которые связывают элементы системы. Структура может быть простой или сложной в зависимости

от числа и типа взаимосвязей между частями системы. В сложных системах должна существовать иерархия, т. е. упорядочение уровней подсистем, частей и элементов. От типа и упорядоченности взаимоотношений между компонентами системы в значительной степени зависят функции систем и эффективность их выполнения.

Состояния и потоки

Принято делать различие между состояниями и потоками в системах. *Состояние* системы характеризуется значениями признаков системы в данный момент времени. Переходы части элементов системы из одного состояния в другое вызывают *потоки*, определяемые как скорость изменения значений признаков системы. *Поведением* системы считается изменение состояний системы во времени.

Системный подход с точки зрения управления

При использовании системного подхода особого внимания заслуживают четыре важные проблемы:

1. Определение границ системы в целом и границ окружающей ее среды, или окружения.
2. Установление целей системы.
3. Определение структуры программы и построение матрицы программы – элементы.
4. Описание управления системами [9].

Есть, однако, особенность, которая должна быть учтена в аспекте «работы над ошибками» по Ван Гигу. Она заключается в том, что, проектируя заново, мы *не найдем* ошибку. Возможно, мы ее не сделаем (и, как правило, этого достаточно, ведь победителя не судят). Возможно, сделаем другую. Но саму ошибку не зафиксируем, что не всегда хорошо, иногда выявление ошибки является самоцелью или, по крайней мере, одной из задач.

В таком случае системный подход по Ван Гигу должен быть специальным образом модифицирован под эту задачу, и модификация должна быть обоснована и верифицирована.

Несмотря на то что подход Ван Гига и его знаменитая книга об этом подходе ориентированы не на технические системы, о чем он предупреждает еще в предисловии, а в основном на сложные системы смешанной природы, условно говоря «организации» (в существенно расширенном понимании – вплоть до государств или даже вообще всего мира как некоторого потенциально управляемого единства), многие положения его работы могут быть очень полезны для прояснения понятийной области, касающейся систем вообще (так как упомянутые «сложные» системы – это все равно системы).

10. **Терминологические ошибки** – это самый простой тип ошибок, ошибки в употреблении терминов. Однако на самом деле терминологическая ошибка может быть ошибкой большинства приведенных выше типов: языковой, логической, фактической, системной и даже хронологической, если в одной терминологической системе исследователь пытается совместить термины разных научных парадигм, нарушая принцип прогрессивного развития науки. В общем, можно сказать, что терминологическая ошибка – это ошибка любого типа, но допущенная в отношении применения или толкования термина.

Этот тип вообще стоит выделять только потому, что в научном исследовании терминологии придается особое значение.

Очевидно, что приведенный перечень – не классификация. Я сознательно использовала менее строгое слово «типы», а не более строгое «виды». Это не виды понятия «ошибка», так как объемы понятий, скрывающихся за каждым типом, могут пересекаться в конкретных условиях. Хронологическая ошибка может быть фактической, а может – методической, ошибка чувственного восприятия может быть методической, а может – арифметической или системной, и т. д.

Для того чтобы понять на практике условность выделения этих типов и в то же время целесообразность этого разделения, стоит попробовать на практике же этот перечень и применить – разобрать ошибки, которые встретятся в научно-популярном произведении по компьютерной безопасности.

Задание: обнаружить и описать (определить тип, аргументировать выбор типа, выявить следствия и, если возможно, источники) ошибки в тексте, приведенном в конце раздела, а также предложить варианты исправления обнаруженных ошибок.

На практике отнесение выявленной ошибки к какому-то типу нам может понадобиться в двух случаях, соответствующих самому крупному и самому важному делению всех ошибок.

Важнее всего, что ошибки делятся на свои и чужие.

И в отношении своих и чужих ошибок, разумеется, целесообразны совершенно разные стратегии поведения. Свои ошибки желательно выявить как можно раньше и исправить – до тех пор, пока результат, содержащий ошибки, не введен в научный оборот. В отношении же чужих линии поведения могут существенно различаться под влиянием вненаучных факторов.

Вполне естественно, что помимо того, что мы стремимся к установлению истины, мы в то же время находимся в рамках определенной научной парадигмы, зачастую – принадлежим к какой-либо школе или направлению, или когда все это еще не сформировано толком, как в защите информации, которая как наука находится еще в стадии становления (что дает и плюсы, и минусы), то по крайней мере мы поддерживаем чьи-то

взгляды, а чьи-то – отрицаем (иногда, возможно, и не вполне справедливо).

В зависимости от всего этого наша критика тех или иных исследователей будет довольно заметно различаться. И это нормально. Не надо считать, что вы обязаны клеймить всех оппонентов с одинаковым комсомольским задором и пролетарской ненавистью – *это* как раз не нормально. Ученый, как и любой человек, не должен быть чужд нормальных человеческих свойств, таких как уважение и благодарность.

В то же время, по существу, критика «друзей» и «врагов» – если речь идет о научной критике – будет различаться в основном риторически – в первом случае мы, скорее всего, будем квалифицировать ошибку как объяснимую некоторыми объективными причинами (если их удастся обнаружить) или соответствующую тому этапу развития теории, на котором она была сделана (что, строго говоря, тоже объективная причина); во втором же мы будем стараться усугубить ошибку, компрометируя компетентность исследователя, показать, что она как раз не имеет под собой причин и сделать ее было существенно сложнее, чем не сделать, – однако ж исследователь ее таки допустил.

Для этого, проанализировав тип ошибки, мы выберем тот, при котором она выглядит более грубой (а в случае с «другом», разумеется, менее грубой). Тут нужно сказать, что ранжировать типы ошибок по степени «грубости» заранее – невозможно. Совершенно абсурдным было бы утверждать, что хронологические ошибки менее грубы, чем ошибки чувственного восприятия, или наоборот. Однако в конкретных условиях, как правило, такое ранжирование возможно. Например, для историка хронологическая ошибка – почти всегда позорное обвинение, хотя, казалось бы, суть исследования для историков и состоит во многом именно в установлении хронологии, что же позорного в том, что исследователь получил неверный результат? Ту же ошибку можно, как правило, квалифицировать как методическую, и это будет восприниматься намного простительнее, особенно в отношении молодого ученого. Для естествознания хронологическая ошибка будет звучать мягче, чем

фактическая. При анализе эксперимента методическая ошибка – более тяжелое обвинение, чем ошибка чувственного восприятия. И так далее.

В этом нет какой-то жесткой системы, которую можно было бы зафиксировать сводом правил, это, как все обычаи, постигается при погружении в ту или иную культуру и тот или иной дискурс.

Пока это погружение не состоялось, целесообразно исходить из того, что обличительный пафос в критике использовать рано, а руководствоваться стоит тем, какой из типов, к которым можно отнести ошибку, *позволяет нам выявить все ее возможные следствия и причины*, чтобы ничего не упустить. И в этом то главное общее, что объединяет работу над своими и чужими ошибками: важно не остановиться на локальном исправлении найденной ошибки, обязательно надо проверить, что привело к ее возникновению, найти *корневую* ошибку и, продолжая метафору, вытащить все возможные «побеги» – найти и выправить все, что построено на основании этой ошибки.

Зачастую следствия из ошибки, особенно если сама она не очевидна, заходят очень далеко и намного превосходят все разумные ожидания, могут и предопределить направление развития целых отраслей науки и техники на многие десятилетия вперед. Такому случаю посвящена статья В. А. Конявского «Ошибка великого Тьюринга» [24].

Пример – идеальный с точки зрения близости «побега» к корню и поэтому очень удобный для анализа на занятии – встретился в проекте[2] методического пособия по основам информационной безопасности.

«…Атаки на уровне аппаратного обеспечения и ОС имеют своей целью несанкционированное изменение настроек и порядка функционирования, подмену существующих ОС или аппаратных средств (например, загрузка нештатной ОС, замена микросхемы BIOS), внедрение дополнительных программных

[2] Ошибка была исправлена на стадии проекта издания, итоговый материал [25] этой ошибки не содержит.

или аппаратных средств, не предусмотренных проектом системы (например, внедрение вредоносного кода в BIOS).

Задача блокирования таких атак сводится к доказательству того, что компьютер принадлежит именно пользователю, а не кому-то, кто его модифицировал для выполнения собственных задач, возможно, далеко не совпадающих с задачами легального пользователя.

Для доказательства того, что компьютер, с которым мы работаем, не был изменен, нужно доказать, как минимум, целостность:

- важнейших аппаратных ресурсов – процессора, жестких дисков, материнской платы, приводов оптических и гибких дисков, устройств USB;
- важнейших программных ресурсов – BIOS, ОС.

Для того чтобы доказательство целостности стало возможным, целостность ресурсов можно:

- контролировать;
- либо обеспечивать.

Для контроля целостности чего-либо необходимо зафиксировать его “правильное” состояние, затем при необходимости проверять текущее состояние и сравнивать полученные результаты с “правильным” состоянием.

<далее описываются различные важные особенности контроля целостности и средств такого контроля>

Теперь рассмотрим вариант с *обеспечением* целостности, т. е. обеспечением невозможности модификации ресурсов. Такой способ предполагает перевод памяти, в которой расположены защищаемые программные ресурсы и файлы настроек аппаратных ресурсов, в режим “только чтение” (Read Only). Для обеспечения целостности аппаратных ресурсов дополнительно должны использоваться организационные меры. При выборе обеспечения целостности следует учитывать некоторые особенности:

<далее описываются различные важные особенности обеспечения целостности и предназначенных для этого средств>…» [25].

В этом отрывке мы наблюдаем «подозрительное место»: «Задача блокирования таких атак сводится к доказательству того, что компьютер принадлежит именно пользователю, а не кому-то, кто его модифицировал…». Блокирование атаки сводится к доказательству – это подозрительно. То есть я могу смело утверждать, что это ошибка, а молодой исследователь должен быть в своих оценках осторожнее и постараться себя проверить. Если это просто особенное авторское словоупотребление (я бы назвала это лексической ошибкой, но в зависимости от авторитетности того, кто ее допускает, разумеется, такую не явно грубую ошибку можно было бы отнести к стилю), то оно не окажет никакого влияния на дальнейший текст, если же это системная ошибка, то она вызовет цепную реакцию и где-то дальше обязательно проявится ошибка или ошибки, вызванные этой формулировкой. В данном случае получилось очень удачно, потому что улики обнаруживаются совсем близко.

«…Для контроля целостности чего-либо необходимо зафиксировать его "правильное" состояние, затем при необходимости проверять текущее состояние и сравнивать полученные результаты с "правильным" состоянием…».

Каким может быть итог сравнения? Очевидно – положительным (совпадает) или отрицательным (не совпадает). В первом случае мы можем сказать, что принадлежность компьютера пользователю доказана. А во втором? Контроль целостности показывает, что среда изменилась, компьютер пользователю больше не принадлежит. Принадлежность его пользователю не доказана, более того, опровергнута. Значит, либо контроль целостности неприменим для блокирования «таких атак» (а автор утверждает, что это один из двух способов), либо *блокирование атак не сводится к доказательству*.

Теория и практика защиты информации сегодняшнего дня подсказывают, что контроль целостности, скорее всего, все-таки применим для блокирования атак через аппаратное обеспечение и ОС. А формулировка о том, что *блокировать атаку может доказательство* – уже под подозрением. Значит,

более вероятно, что ошибочно именно утверждение о доказательстве.

Далее, если это чужая ошибка, материалом нужно распорядиться в соответствии с рекомендациями раздела «Опровержение» из курса прикладной риторики, а если ошибка своя – заняться минимизацией (в лучшем случае – предотвращением) репутационного ущерба. Вернемся к этому чуть позже, а пока обсудим возможные приемы поиска своих и чужих ошибок.

В начале лекции я упомянула, что признаки научности сформулированы таким образом, чтобы исключить саму возможность возникновения ошибок.

Попробуем с их списком в руках разобрать, как они помогут исследователю в деле самоконтроля.

Учащимся предлагается самим построить и обосновать предположения о том, каких именно ошибок можно избежать, проконтролировав свою работу на предмет соответствия признакам научности. Для удобства желательно раздать списки.

В первую очередь, крайне желательно, чтобы учащиеся сами сформулировали, что список, задающий *методологию* научного исследования, главным образом даст инструмент поиска *методологических* же ошибок. Но кроме них – и других все-таки тоже.

Должно получиться примерно так.

В ходе **исследования как деятельности** контролируем следующее.

С точки зрения содержания:

1. *Цель (установление истины) и задача (описание мира, выявление внутренних закономерностей)* – могут помочь выявить в основном только грубые **методологические** ошибки – такие как отсутствие или поверхностность (в худшем случае – тенденциозность) выводов, шаткие основания и

аргументы. Для исключения таких ошибок нужно убедиться, точно ли вы не отбираете материал по принципу того, что он укладывается в вашу теорию и приводит к желательному результату, нужно постараться специально поискать контрпримеры, что-то, что могло бы разрушить вашу концепцию. Однако, конечно, не стоит преувеличивать – если такие ошибки уже допущены, то велика вероятность, что самоконтроль вежливо закроет глаза на них. В отличие от случая поиска аналогичных ошибок у других.

2. *Предмет рассмотрения полагается реально существующим* – это означает, что он рассматривается как обладающий всеми сторонами существования других предметов того же класса (например, массой и объемом, если это физическое тело, системами питания и выведения, если это живое существо, и т. д.), не обладает противоречащими одна другой или несовместимыми характеристиками (он одновременно живой или неживой, и если живой, то в каждый конкретный момент или жив, или мертв, причем если мертв, то жив уже не будет (тот же экземпляр)) etc. Такой анализ наших представлений о предмете изучения позволит избежать **системных** и **логических ошибок**, а также – при известной сложности предмета – **ошибок чувственного восприятия**. Возьмем в качестве примера классический анекдот про изучение слона на ощупь – один исследователь полагал, что слон – это теплый канат, другой – что это шершавая колонна, третий – что это стена. Изучать большую систему по частям – правильно. Однако, держа в голове, что они все изучают один и тот же предмет *и он реально существует*, исследователи объединили бы свои впечатления и попытались бы их соединить в нечто непротиворечивое методом итерационных приближений. Вполне мог получиться слон.

3. *Новые теории и подходы вытесняют старые, а не сосуществуют с ними* – помогает избежать **методических ошибок** соединения разных научных парадигм. Однако тут нужно иметь в виду, что в такого рода соединениях может содержаться вовсе не ошибка, а новый более эффективный

способ решения задачи. Здесь критерием будет то же, на что я часто обращала ваше внимание в курсе прикладной риторики, – если «так получилось» случайно, надо проверить, не ошибка ли это. Если же вы сделали это нарочно – просто взвесьте лишний раз «за» и «против». В качестве примера могу привести мою собственную диссертацию, в которой я соединила два противоположных подхода к категории числа существительных – как к категории грамматической (словоизменительной, что означает, что существительное *изменяется по числам*) и как к категории словообразовательной (то есть существительное множественного числа – это *другое слово*, чем существительное единственного числа), да еще и соединила диахронический (изучается изменение системы языка) и синхронический (изучается язык одного периода как система) подходы к исследованию языка (я не вижу никаких противопоказаний ни практического, ни теоретического характера к этому синтезу, поэтому отказываюсь считать это экспериментом или новаторством).

Как уже упоминалось выше, анализ на предмет одновременного присутствия в исследовании черт разных научных теорий, школ или парадигм, а также целесообразности этого присутствия, если оно обнаружено, позволит уточнить терминологическую систему исследования и избежать **терминологических ошибок**.

В отдельных случаях анализ на предмет признака прогрессивного развития науки может натолкнуть на выявление **системных** или **логических ошибок**, хотя этот путь их обнаружения ближе к интуитивному, чем к методическому. Например, вы проводите серию экспериментов по выявлению момента отделения души от тела и доказываете, что проводить эти эксперименты правильнее не на мышах, а на обезьянах, так как человек произошел не от мышей, а от обезьян. Казалось бы, это довольно нелепое смешение картин мира – или человек произошел от обезьяны, или можно инструментально зафиксировать отделение души. Однако человеческое сознание примиряет такие оксюмороны довольно легко – ведь умудряются же многие (хочется верить, что не ученые) считать, что Бог против ИНН и клонирования.

4. *Результат, опыты, доказательства – воспроизводимы, в том числе другим субъектом на других объектах класса* – и это помогает вовремя выявить **ошибки чувственного восприятия** и значительную часть **методических ошибок**. Очевидно, почему нет смысла подробно на этом останавливаться. Заметим, что это свойство – при условии, что действия не только *воспроизводимы*, но и *воспроизводились* неоднократно, – позволяет выявить и **арифметические ошибки**.

5. *Исследование предмета производится системно (элементы, взаимосвязи, среда)* – это скорее всего поможет выявить **системные** и многие **логические ошибки**; отдельно стоит сказать о компоненте системности, зачастую упускаемом из виду, – о среде. Если не забывать думать о том, что относится и что не относится к изучаемому предмету, является его средой, можно избежать **методических ошибок**, особенно при планировании эксперимента. Примером является обязательное формирование третьей группы объектов при проведении сравнения воздействия двух разных факторов на объекты воздействия – группы, на которую не будет воздействовать ни один из сравниваемых факторов. Например, одна группа пенсионеров систематически пьет по чайной ложке рапсовое масло, вторая – подсолнечное, третья – не пьет масла совсем.

О том, зачем это нужно, мы уже говорили и еще будем подробно обсуждать в связи с планированием научных экспериментов.

6. *Из полученных результатов делаются выводы теоретического характера* – отсутствие *таких выводов* говорит о **методологической ошибке**, а отсутствие *возможности сделать* такие выводы – о **системной ошибке**.

7. *Деятельность была направлена на поиск ответа на конкретный вопрос (была полезной)*, иначе она была **методологически ошибочной**.

8. *Методология и исследовательские процедуры были определены и постоянны* – это позволяет избежать **методических ошибок** (о том, почему определена должна быть методология, а ошибки будут выявлены – методические, еще пойдет речь в соответствующей теме).

9. *Методология и результаты не зависели от субъекта исследования (были объективны)* – это позволяет снизить вероятность **фактических, методических ошибок** и **ошибок чувственного восприятия**.

10. *Исследование опиралось на доказательства и истинные положения (действия и выводы были обоснованы)* – проверка этой особенности позволяет проконтролировать возможные **логические** и **фактические ошибки**, зачастую может помочь обнаружить в том числе и **хронологические**, так как восстановить хронологию часто помогает не столько точное знание, сколько правильное рассуждение.

С точки зрения формы:

11. Проверка «*совместимости*» (того, как данные, полученные в ходе деятельности, встраиваются в существующие теории или опровергают их) позволяет выявить **системные** и **фактические ошибки**, если исследователь достаточно объективен к себе.

12. *Основанность исследования на практике – эксперименте, наблюдении (эмпиричность)* – позволяет выявить **фактические** и часто даже **логические** ошибки. Если результат эксперимента противоречит результату рассуждения – весьма вероятно, что неверно именно рассуждение.

13. *Проверяемость результатов (верифицируемость)* создает предпосылки для выявления **системных**, **логических** и **арифметических ошибок**, в тех случаях, когда результатом является хронология, – то и **хронологических**.

14. *Применяется специальный инструментарий (приборы, методы, приемы)* – это должно снизить вероятность **ошибок чувственного восприятия**; целесообразно проверить, везде ли, где это возможно, вы применили существующие в науке наработки, не полагаясь исключительно на собственные чувства или рассуждения.

15. *Деятельность ориентирована на поиск возможных ошибок в собственных и в чужих положениях, методиках и результатах* – очевидно, что если ваша деятельность ориентирована именно так, то это положительно скажется на выявлении любых ошибок.

16. *Исследователь в своих действиях исходит из принципов*

- простоты (не допускает необоснованного усложнения гипотез),

- консерватизма (необходимость новаций всегда обоснована),

- универсальности (исследование касается не конкретного объекта, а класса объектов),

- красоты (гипотеза, теория, доказательство должны быть элегантны).

Принципы простоты и консерватизма направлены скорее на минимизацию почвы для возникновения ошибок, однако и поиск их именно в местах усложнений и не вполне обоснованного новаторства вполне продуктивен. Такие места надо проверить на наличие **любых ошибок**, в том числе **терминологических** и **языковых**.

Проверка соответствия принципу универсальности позволяет проверить себя на предмет **ошибок чувственного восприятия**, **логических** и **методических ошибок**.

Единственный признак научности, который может как позволить обнаружить ошибку, так и породить ее, – это принцип красоты. Ради красоты теории, к сожалению, исследователи иногда *допускают* фактические ошибки. Хотя при определенном опыте и натренированном глазе

действительно сигналом возможной ошибки могут стать разного рода нарушения гармонии.

Все, что мы контролируем в своем **научном продукте** с точки зрения содержания, касается выявления возможных методологических ошибок – ошибок оформления исследования как научного.

С точки же зрения формы контролируем в тексте следующее.

1. *Текст написан в научном дискурсе* (использован научный функциональный стиль языка, применяются специальные термины и определения) – внимание к дискурсу позволит избежать **языковых** и **речевых ошибок**, хотя это и не гарантия, лучше все-таки дополнительно пользоваться услугами корректоров.

2. *Используемые понятия были определены и постоянны* – это позволит выявить **терминологические ошибки** и иногда, хотя плохо, если это не удалось сделать на более раннем этапе, до проверки готового текста, – **системные**.

3. Проверка, составлен ли текст *в соответствии с принципами простоты, консерватизма, универсальности и красоты*, позволит еще раз убедиться в отсутствии **языковых** и особенно **речевых (стилистических) ошибок**.

Отдельно в ряду признаков научного в деле обнаружения ошибок стоит *опровержимость*. Отдельно она стоит потому, что формулировка условий, которые скажут Вам о том, что Вы ошиблись, должна предшествовать всем остальным проверочным действиям, это свойство призвано не допустить ошибки, а не выявить их.

Легко заметить, что наименее вероятно путем анализа своей деятельности и своего текста на предмет признаков научности выявить *фактические, арифметические и языковые ошибки*. В принципе, это логично – такие ошибки не специфичны для научной сферы, поэтому и плохо поддаются выявлению научными инструментами. Они, если можно так выразиться, «общеобразовательные».

Наконец, проговорю то, что кажется очевидным, но забывается в отрыве от академического процесса: отсутствие **методологических ошибок** обеспечивает именно самоконтроль на предмет наличия в вашем исследовании перечисленных признаков научности. Если вы убедились, что все это так и есть в вашем исследовании, – почти наверняка оно методологически безошибочно.

Конечно, если при обнаружении этих признаков в своем исследовании вы не допустили ошибку чувственного восприятия. Но, в общем, научное исследование – это не строго процедурная деятельность, иначе ею можно было бы заниматься и не имея таланта.

У вас должно возникнуть обоснованное сомнение в том, что исследователь действительно проделывает все эти аналитические процедуры каждый раз над каждой своей мыслью и каждым абзацем текста, чтобы избежать ошибок. Разумеется, нет, этого не происходит.

Обычно ошибку начинают искать там, где она по каким-то причинам *подозревается*. Правильное «угадывание» мест с ошибками – это отчасти интуиция, отчасти опыт, а отчасти особенность склада ума. Из перечисленного могу настоятельно посоветовать наращивать опыт, анализируя свои собственные ошибки, найденные кем-то другим, и причины того, что они а) были вообще допущены и б) не были обнаружены вами.

Анализ собственных ошибок ничуть не менее значим, чем их исправление.

В связи с этим стоит упомянуть еще одну задачу, к сожалению, иногда остро стоящую перед исследователем: что делать, если собственная ошибка обнаружена поздно, когда текст, ее содержащий, уже введен в научный оборот.

В первую очередь следует хладнокровно взвесить, насколько эта ошибка важна.

Критерии важности, в принципе, каждый формулирует для себя сам, но я бы предложила такие:

1) влияет ли она на правильность основных выводов,
2) влияет ли она на правильность теории, которую вы строите или в рамках которой рассуждаете,

3) является ли она системной,

4) является ли она критичной для воспроизводимости результата или хода исследования,

5) является ли она соблазнительной для критики (иными словами, обнаружь вы такую ошибку у оппонента, ухватились бы вы за нее как за повод его скомпрометировать?).

Если ответ *хотя бы на один из вопросов* – да, то следует спросить себя, является ли эта ошибка устранимой.

Если тоже да, то следует ее срочно устранять и искать наименее травматичный способ ввести в научный оборот научный продукт с исправленной ошибкой. При этом целесообразно упомянуть исправление ошибки явно и оговорить, что изменилось в связи с ее исправлением. Этим вы пресечете возможные спекуляции как на тему самой ошибки, так и на тему «смены вашей позиции».

Если ошибка неустранима – это, конечно, самый плохой вариант, однако все равно, если вы собираетесь продолжать исследования в этой области, признавать ее надо. Желательно при этом хотя бы наметить путь исследования, который представляется верным. Ясно, что достаточно оперативно предложить полностью проработанную концепцию, если в предыдущей выявлена неустранимая ошибка, – практически невозможно.

Если же ни по одному из приведенных параметров ошибка не оказалась особенно важной, то достаточно просто ввести в оборот текст, ее не содержащий, а сам факт ошибки и ее безболезненного исправления можно привести как аргумент в пользу живучести и продуктивности вашей теории – она дает инструментарий для выявления ошибок и не разваливается при их обнаружении. Такой ход не только покажет вас уверенным в себе и объективным ученым, но и внутренне свободным человеком (это не обязательно должно быть правдой, сначала, возможно, придется себя заставлять).

Далее приведен пример текста[3], который может быть использован для упражнения в обнаружении и анализе ошибок. Это задание можно дать на дом, а можно выполнить на занятии совместно при наличии свободного времени.

ОСОБЕННОСТИ ВЕРИФИКАЦИИ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

В век стремительного развития технологий и их внедрения во все сферы жизни человека особую роль начинает играть необходимость защиты информационных ресурсов.

Часто в организациях, заинтересованных в сохранении конфиденциальности обрабатываемыхданных, применяется организационный метод защиты информации, регулирующий физический доступ сотрудников к рабочим станциям. Однако, практически всегда одного организационного метода недостаточно для обеспечения безопасности от попыток получения несанкционированного доступа, и необходимо применениесредств защиты информации (СЗИ).

СЗИ, в зависимости от исполнения, бывают программными и программно-аппаратными. Независимо от вида, главной задачей этих продуктов является защита данных пользователей. Выполнение этой задачи может достигатьсяразличными методами, в числе которых, например, разграничение доступа к информационным ресурсам, криптографическая защита данных, контроль целостности программной и аппаратной частей рабочих станций.

Жизненный цикл СЗИ, вне зависимости от его вида, состоит из следующих этапов:

- проектирование, включающее формирование требований к продукту;
- разработка, программирование;
- тестирование, необходимое для проверки работоспособности и фиксации ошибок;
- верификация на основании проведенного тестирования;
- финализация и выпуск.

[3] Текст представляет собой черновой вариант статьи [26], в дальнейшем доработанной.

В данной статье рассмотрим предпоследний этап, так как он является основополагающим при принятии решения о выходе продукта на рынок.

В настоящее время существует достаточно большое количестворазнообразных СЗИ. Некоторые обладают достаточно ограниченной функциональностью, некоторые реализуют целый комплекс инструментов, обеспечивающих защиту данных и гибкость в настройке способов защиты. Разнообразие СЗИ на рынке закономерно приводит к необходимости определенной их классификации на основе выполняемых ими задач.На основании проведенной классификации,вырабатывается список требований, предъявляемых к СЗИ.

Вне зависимости от класса продукта, до выпуска он должен быть проверен на соответствие предъявляемым к нему требованиям. Соответствие требованиям проверяетсяне только при первом выходе СЗИ на рынок, но и при выпуске последующих обновленных его версий. Для этого выполняется его тестирование, а затем, по результатам тестирования, его верификация.

В общепринятом понимании, верификация – это подтверждение соответствия выпускаемого продукта предъявляемым к нему требованиям. Верификация выполняется на основании проведенного комплексного тестирования функционала продукта,так как тестирование приводит к выявлению всех недочетов его работы системы, касающихся как удобства использования, так и нарушения работоспособности.

Верификацию можно разделить на несколько этапов, первый из которых является переходным этапом между тестированием и верификацией:

- формирование таблицы результатов тестирования, содержащей перечень ошибок и особенностей;
- оценка критичности выявленных ошибок;
- анализ оценки критичности ошибок и особенностей, вывод о соответствии требованиям;
- принятие решения об окончании верификации и о возможности финализации.

В процессе тестирования используются специальные программы и методики тестирования (ПМИ), содержащие в себе

определенные последовательности действий с отслеживанием полученного результата. ПМИ составляются таким образом, чтобы охватить весь функционал продукта и получить наиболее полное представление о его работоспособности. При этом, в случае СЗИ (в том числе содержащих аппаратную часть), тестируемый объект может находиться в различных стартовых условиях: разные операционные системы, разные аппаратные части и т. п. Эти условия являются входными данными для проведения тестирования. Для каждого такого набора условий тестирование по ПМИ выполняется отдельно. На основании каждого проведенного тестирования составляется таблица результатов, содержащая весь перечень найденных ошибок. Совокупность результатов всех тестирований на разных наборах входных данных является итоговой таблицей результатов тестирования, которая используется для анализа работоспособности продукта в целом.

Важно помнить, что зачастую некоторые найденные в процессе тестирования ошибки могут быть исправлены достаточно быстро, еще до окончания верификации. Учитывая, что каждое внесенное исправление в один из модулей продукта может повлечь за собой изменение работы других модулей, необходимо провести повторное тестирование исправленного продукта по всей ПМИ. Таким образом, постоянное изменение верифицируемого объекта может привести к путанице в результатах и к, так называемому, «бесконечному тестированию», что, в свою очередь, приведет к задержке выпуска продукта. Для предотвращения входа в бесконечный цикл тестирования необходимо либо принять решение о внесении исправлений в следующую версию и завершить верификацию текущей, с выносом вердикта относительно ее выпуска, либо остановить верификацию текущей версии и сразу приступить к верификации новой, максимально доработанной на текущий момент версии продукта.

Все вышеописанные принципы верификации справедливы и для средств защиты информации. Однако, в случае СЗИ, верификация проходит с учетом некоторых особенностей, касающихся анализа связи ошибок в функционировании с безопасностью данных в защищаемой системе.

К ошибкам, выявленным при тестировании СЗИ, относятся как, например, опечатка в выдаваемом продуктом сообщении, так и ошибка, приводящая к неработоспособности самого СЗИ, или даже всей защищаемой этим продуктом системы. Очевидно, что эти ошибки неравнозначны с точки зрения работы продукта, поэтому необходима определенная градация всех найденных ошибок относительно их влияния на выполнение основной задачи СЗИ – защиты информационных ресурсов и обеспечения безопасности.

Шкала критичности ошибок индивидуальна и, как правило, предназначена для внутреннего использования компанией, производящей данное средство защиты. Именно этот этап является основополагающим при принятии решения о возможности финализации.

Рассмотрим пример оценки критичности ошибок, найденных при тестировании СЗИ. Ошибки можно разделить на несколько типов:

1. Ошибки интерфейса.

К ним относятся недочеты в удобстве пользования интерфейсом, корректности отображения всех его элементов, опечатки в системных сообщениях и т.д. Эти ошибки не нарушают целостность СЗИ, не влияют на его функциональность, их исправление необходимо для обеспечения комфортной работы пользователя с продуктом. Наличие таких недочетов не опасно для защищаемой системы, соответственно присваивается минимальный уровень критичности.

2. Ошибки, ограничивающие функциональность СЗИ, без нарушения защитных функций.

Этот тип ошибок накладывает некоторые ограничения на функциональность СЗИ, при этом, не подвергая опасности защищаемую систему. То есть, либо нефункционирующие опции СЗИ не отвечают непосредственно за защиту обрабатываемых данных, либо отсутствие этих функций можно скомпенсировать за счет других средствбез потери уровня защищенности.

3. Ошибки, нарушающие целостность системы защиты.

К этому типу относятся ошибки, приводящие к образованию «дыр» в защите, либо к полной неработоспособности СЗИ. Очевидно, что они являются наиболее критичными и наличие

даже одной ошибки этого типа приводит к завершению верификации запретом выпуска продукта.

Следует отметить, что разделение полученных ошибок на второй и третий тип не всегда является тривиальной задачей, так как не всегда очевидно к чему впоследствии может привести нарушение в функционировании той или иной функции СЗИ. Например, если ошибка, найденная тестировщиком, проявляется в том, что в журнал СЗИ записывается информация с неправильным именем пользователя, то, это может быть ошибка второго типа, когда, например, некорректно работает функция записи в журнал (записывается не то, что происходит в действительности). Однако, если разобраться, то к такому проявлению может приводить и ситуация, когда, например, некорректно работает функция разграничения прав доступа (один пользователь имеет права доступа совершенно другого пользователя). . В данном случае это уже будет ошибка третьего типа, которая как раз может привести к нарушению безопасности системы и возможности реализации каких-либо атак со стороны злоумышленника. В описанной ситуации, тестировщик самостоятельно не сможет разобраться в чем именно суть проблемы, и необходимо привлечение программиста. Именно поэтому необходимо проведение анализа оценки критичности ошибок. Только на основании такого анализа можно принимать решение об итоге верификации.

После оценки полученных результатов остается вынести вердикт – выполняются ли все требования, предъявленные к данному СЗИ, или есть нарушения. На основании этого вердикта принимается решение о выпуске продукта на рынок, или задержке для последующей доработки и повторного тестирования и верификации.

Таким образом, для СЗИ справедливы все общепринятые нормы верификации, но при этом имеются свои особенности. Они касаются оценки критичности полученных при тестировании ошибок, так как необходимо провести подробный анализ всех возможных рисков, которым может подвергнуться защищаемая система в результате некорректного функционирования определенных модулей СЗИ.

ТЕМА 5. ПОНЯТИЯ «МЕТОД», «МЕТОДИКА», «МЕТОДОЛОГИЯ», «НАПРАВЛЕНИЕ»

Есть популярная реприза – табурет, кресло, диван, лексус – что лишнее? Все, кроме лексуса, – лишнее.

Также и с направлением – это понятие в ряду, формирующем название данной темы, стоит особняком, и в то же время именно с него имеет смысл начать.

К сожалению, общее для всех этих понятий свойство – катастрофическая неопределенность, совершенно разные трактовки, существующие параллельно и не вытесняющие друг друга вопреки требованию прогрессивного развития. Понятие «направление» («научное направление», «направление исследований») эта неопределенность тоже характеризует. Даже вводя довольно узкие поисковые запросы типа «научные направления в физике», мы получим разные результаты, сводимые преимущественно к двум группам.

Первая группа результатов будет так или иначе сводиться к тому, что направления физики – это теоретическая, прикладная и экспериментальная, а вторая группа – к тому, что направления физики – это оптика, механика, акустика и т. д.

Более того, в устной беседе с учеными, утверждающими, что считают верной *первую группу* результатов, можно услышать слово «направление» именно в отношении *разделов* физики – тех самых атомной физики, физики конденсированных сред и аналогичных, то есть того, что называется направлениями во *второй группе* результатов. Это говорит о том, что мы имеем дело не с разными подходами, а именно с неопределенностью, с недетерминированностью термина.

Это закономерно, хоть и огорчительно, потому что такое употребление нормально для *слова* «направление», его семантика довольно абстрактна, а терминологические его

употребления не лежат в основе никакой фундаментальной теории, поэтому у них просто нет повода кристаллизоваться и устояться. Проще говоря, никому не нужно, чтобы эти термины определились и сформировались в единую и непротиворечивую понятийную систему.

Нет такой задачи и у этого курса.

Про такие недотермины можно сказать, что они носят дискурсивный характер, определяя принадлежность употребляющего их человека к своим или не своим. Поэтому для успешной интеграции в научное сообщество не «вообще», а в отношении конкретной науки и научной парадигмы (об этом прекрасном понятии будет сказано чуть позже) достаточно понять *основания* принципиальных различий в трактовке таких понятий и принять позицию того общества, частью которого мы хотим стать.

В отношении идиомы «научное направление» наш с вами вариант будет таким.

«Направлениями» называем глобальные научные области, характеризующиеся особенностями предмета, набором основных методов, аксиоматикой и терминологией. Предметные же области внутри направлений называем «разделами» или любым другим удобным общеупотребительным словом, например, собственно «предметные области», вполне употребительное и дискурсивное словосочетание.

Главное, что необходимо иметь в виду в нашем случае, – это то, что как наука защита информации находится в стадии становления, фундаментальной теории защиты информации с собственной аксиоматикой не построено (попытки ее построения мы разбирали в теме определений). Поэтому говорить с достаточными основаниями о наличии *научных направлений* в защите информации – не совсем справедливо.

Однако уже сложились *направления научных исследований*, которые в дальнейшем должны стать научными направлениями. Это

- контроль доступа к средствам вычислительной техники (СВТ),
- разграничение доступа субъектов к объектам,

- криптография,
- защита информационных технологий.

Из них криптография в настоящее время наиболее близка к тому, чтобы считаться сложившимся и устоявшимся научным направлением. В криптографии есть разделы – квантовая криптография, инженерно-криптографический анализ и т. п.

Остальные три направления в настоящее время являются больше техническими, чем научными, однако без строгой научной базы технические подходы обречены на фрагментарность, поэтому они же – те же направления – и должны являться (и являются) направлениями научных исследований.

Если сформулировать предельно упрощенно, то **контроль доступа к СВТ** – это исследование архитектурных уязвимостей компьютеров и выработка методов их коррекции (таким методом может быть применение резидентного компонента безопасности (РКБ), может быть изменение архитектуры – это разделы внутри направления, которые, напомню, тоже могут в определенных контекстах называться направлениями).

К слову, контроль доступа к СВТ традиционно называется «защита от НСД», но эта формулировка, хоть и является устоявшейся, порождает смысловую путаницу, так как тот доступ, против которого направлено разграничение доступа субъектов к объектам, тоже, вообще говоря, является несанкционированным; эта путаница порождает, в свою очередь, смешение этих направлений, что неприемлемо, так как у них разные предметы, за ними стоит разная техника.

Разграничение доступа субъектов к объектам – это исследование закономерностей существования компьютерных систем на уровне программного обеспечения – системного (операционная система) и прикладного (пользовательские приложения).

Защита информационных технологий – это направление самое новое, введенное в научный оборот буквально лет 10-15 назад, и оно базируется на том, что информационная технология

(упорядоченная последовательность операций над данными) – это отдельный объект защиты, в отношении которого должны использоваться отдельные методы и средства.

Отнесения (разумеется, аргументированного) своего исследования к одному из этих направлений будет достаточно для демонстрации своей квалификации по этому вопросу на уровне диплома или учебно-научной исследовательской работы.

Для общего фона и более свободного владения понятием «направление» может быть целесообразно ознакомиться с фрагментом книги П. В. Таванца «Суждение и его виды» [Таванец]. В этой книге в довольно своеобразной форме (с которой, скорее всего, современные учащиеся никогда в жизни не сталкивались, и хочется верить, что это будет единственный случай, когда столкнутся) большое внимание уделяется тому, какие научные (вообще говоря, философские, хотя прямо об этом не говорится, но все же книга по логике, а логика относится традиционно к философии) направления приемлемы или неприемлемы, конструктивны или спекулятивны. И все это в отношении суждения.

Таванец П. В. Суждение и его виды. С. 5–15.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СУЖДЕНИЯ

Логика изучает формы мышления, абстрагируясь от заключенного в них конкретного содержания. Логику интересует не конкретное содержание *данного,* понятия, суждения, умозаключения, а то общее, что присуще всякому понятию, суждению или умозаключению *определенного вида,* то общее, что присуще *всякому виду* понятия, суждения или умозаключения, и, наконец, то общее, что присуще *всякой форме мышления вообще.*

В этом отношении логика имеет сходство с грамматикой, которую И. В. Сталин характеризует такими чертами: «Отличительная черта грамматики состоит в том, что она дает правила об изменении слов, имея в виду не конкретные слова, а вообще слова без какой-либо конкретности; она дает правила для составления предложений, имея в виду не какие-либо конкретные предложения, скажем, конкретное подлежащее, конкретное сказуемое и т. п., а вообще всякие предложения безотносительно к конкретной форме того или иного предложения. Следовательно, абстрагируясь от частного и конкретного, как в словах, так и в предложениях, грамматика берет то общее, что лежит в основе изменений слов и сочетаний слов в предложениях, и строит из него грамматические правила, грамматические законы. Грамматика есть результат длительной, абстрагирующей работы человеческого мышления, показатель громадных успехов мышления»[1].

В данной главе мы, абстрагируясь от частного и конкретного, рассмотрим те черты суждения, которые присущи всякому суждению. Иначе говоря, в данной главе мы рассмотрим суждение как: 1) утверждение или отрицание чего-либо о чем-либо; 2) мысль, которая может быть либо истинной, либо ложной; 3) мысль, которая всегда выражается в предложении.

[1] И. Сталин. Марксизм и вопросы языкознания. Госполитиздат, 1952, стр. 24.

§ 1. СУЖДЕНИЕ КАК УТВЕРЖДЕНИЕ ИЛИ ОТРИЦАНИЕ ЧЕГО-ЛИБО О ЧЕМ-ЛИБО

На протяжении всей истории логики наибольшей популярностью и почти всеобщим признанием пользуется определение суждения как утверждения или отрицания чего-либо о чем-либо. Это определение (данное еще Аристотелем)[2] находит себе признание среди логиков самых различных философских направлений.

Чем объяснить столь широкую популярность аристотелевского определения суждения?

Для объяснения этого факта прежде всего напрашивается то соображение, что указанный в аристотелевском определении признак суждения (утверждение или отрицание чего-либо о чем-либо) правильно характеризует всякое суждение. Однако, хотя это соображение является безусловно верным, все же одного этого соображения недостаточно для объяснения столь широкой популярности аристотелевского определения суждения.

Дело в том, что это определение, отображая основной признак суждения, все же недостаточно для понимания природы суждения. Поэтому его принимают не только материалисты, но и идеалисты.

В самом деле, ведь в этом определении нет никаких указаний ни в отношении природы того, о *чем* мы утверждаем или отрицаем что-либо, ни в отношении природы того, *что* мы утверждаем или отрицаем о чем-либо.

Различные ответы на эти вопросы как раз и обусловливают собою различное понимание природы суждения.

Рассмотрим вкратце важнейшие из них.

А. Истолкование суждения как сочетания слов

Представители номиналистической логики рассматривают логику как науку о языке. «Логика, – говорит английский номиналист Р. Уэтли, – имеет дело только с языком. Язык вообще, для какой бы цели он ни служил, составляет предмет грамматики, язык же, насколько он

[2] См. Аристотель. Аналитики первая и вторая. Госполитиздат, 1952, стр. 9.

служит средством... для умозаключения, составляет предмет логики»[3].

Исходя из такого понимания предмета логики, номиналисты отождествляют суждение с предложением. Для них суждение – это сочетание слов или имен, «Предложение, – говорит номиналист Гоббс, – есть словесное выражение, состоящее из двух, связанных между собой связкой имен...»[4].

Таким образом, согласно номиналистам, то, о чем мы что-либо утверждаем (или отрицаем) в суждении, есть слова или имена; то, что мы утверждаем (или отрицаем) в суждении, есть определенная связь этих слов.

Такое истолкование природы суждения неправильно.

Конечно, всякое суждение выражается в предложении. Однако предложение есть только языковая оболочка суждения, а не само суждение.

Акт суждения направлен не на слова, которые являются частями предложения, а на нечто существующее вне и независимо от предложения.

Неправильное мнение о том, что акт суждения направлен на слова и что слова и есть то, о чем нечто утверждается или отрицается в суждении, создает возможность для идеалистического истолкования природы суждения.

Ярким примером использования этой возможности могут служить писания представителей современной семантической философии.

У средневековых номиналистов, а также у Гоббса, предложение сохраняло известную связь с бытием, поскольку эти логики признавали, что имена обозначают действительно существующие тела[5].

Современные номиналисты уже совершенно порывают эту связь предложения и языка вообще с бытием.

---

[3] Р. Уэтли. Основания логики. СПб., 1873, стр. 110–111.

[4] Томас Гоббс. Избр. соч., ГИЗ, 1926, стр. 23.

[5] «Предложение, – говорит Гоббс, – есть словесное выражение, состоящее из двух, связанных между собой связкой, имен, посредством которой говорящий хочет выразить, что он и второе имя понимает как имя той же самой вещи, которая обозначается и первым именем…» (Томас Гоббс. Избр. соч., 1926, стр. 23).

Утверждая, что логика есть наука о языке, современные номиналисты под языком разумеют не обычный человеческий язык, а особый искусственный, специально придуманный ими язык.

Обычному человеческому языку, по мнению неономиналистов, нельзя доверять потому, что он ведет к «ложной метафизике»[6], т. е. к признанию того, что слова обозначают объективно существующие вещи и явления.

Чтобы построить «новую логику», свободную от «ложной метафизики» (т. е. от материализма. – *П. Т.*), нужно, по мнению семантиков, создать «новую форму языка».

Однако для того чтобы «новая форма языка» могла заменить собою старую аристотелевскую логику, прежде всего необходимо, говорят семантики, отказаться от той точки зрения, будто может существовать только одна «истинная логика».

Если в логике до сих пор все еще придерживаются материалистической (аристотелевской) теории, то причина этого, по мнению неономиналиста Р. Карнапа, заключается в «широко распространенной точке зрения», что «отклонение» от классической логики нужно «оправдать», т. е. доказать, что новая форма языка передает «истинную логику». Карнап отказывается от такого «устарелого» взгляда на логику. В своей книге «Логический синтаксис языка» он заявляет, что «...теперь, наконец, это препятствие (т. е. требование, чтобы логическая теория передавала «истинную логику». – *П. Т.)* преодолено, и перед нами простирается открытый океан неограниченных возможностей»[7].

Что же означают эти «неограниченные возможности»? Оказывается, что эти «неограниченные возможности» означают «произвольное изобретение всевозможных видов языков» (а, следовательно, логик. – *П. Т.)*.

---

[6] «Логика, – говорит Б. Рассел, – хоть и в малейшей степени доверяющая языку, ведет к ложной метафизике» (B. Russel. Logical Atomist. «Contemporary British Philosophy» (first series), 1925, стр. 367).

[7] R. Carnap. Logische Syntax der Sprache. Wien, 1934, стр. V.

«В логике, – вещает этот идеологический прислужник Уоллстрита, – нет морали. Каждый имеет право построить свою собственную логику, т. е. свою форму языка, по произволу»[8].

Отрешившись от всякой морали, Карнап и пытается строить, в соответствии с социальным заказом империалистической буржуазии, субъективно-идеалистическую «теорию логики». Для этого он прежде всего требует устранения из языка (из логики) всех «универсальных» слов, т. е. слов, указующих на существование общего в объективной реальности[9] и на существование самой объективной реальности «за нашими ощущениями». Карнап требует также устранения так называемого «материального модуса речи», т. е. модуса, который «говорит об объектах, положении дел, о смысле, содержании и значении слов».

Употребление материального, т. е. обычного человеческого модуса речи ведет, по мнению Карнапа, к вопросам, обсуждение которых создает неразрешимые трудности и противоречия, ибо при этом возникают бесконечные споры из-за «псевдовопроса» о том, что же представляет собой та или иная вещь в действительности. Противоречия якобы немедленно исчезнут, если мы откажемся от употребления материального модуса речи и будем применять единственно правильный формальный модус речи, который относится уже не к объектам, не к смыслу, содержанию и значению слов, а только к лингвистическим формам.

Правила этого формального модуса, т. е. «правила построения предложений», устанавливаются логикой или

[8] Там же, стр. 45.

[9] К числу «универсальных слов» Карнап относит такие слова, как «вещь», «объект», «свойство», «отношение», «факт», «условие», «процесс», «событие», «действие», «пространство», «точка», «пространственное отношение», «число», «целое», «функция», «агрегат», «класс» и многие другие. То, что мы вынуждены пользоваться такими словами, – это есть, говорит Карнап, лишь результат несовершенства языка слов. Однако, утешает далее Карнап, каждый язык можно переделать таким образом, что универсальные слова больше не будут в нем встречаться, и это произойдет без всяких жертв в отношении выразительности и сжатости.

«логическим синтаксисом». Они устанавливаются «совершенно произвольно».

Единственно, что требует Карнап от этих правил, это чтобы они ничего не говорили ни о значении символов (слов), ни о смысле сочетания символов (предложении).

Логика должна говорить «просто и исключительно о видах и порядках символов, из которых составлены выражения». Задача логики – это «систематическое изложение формальных правил, которые управляют языком, а также развитие следствий, вытекающих из этих правил».

Нужно сказать, что Карнап не одинок в своих попытках уничтожить материализм в логике, путем «реформы языка». Подобного же рода попытки предпринимали также Альфред Уайтхед[10], Чарльз Моррис[11] и другие идеалисты. При этом все они противопоставляют материализму давно обанкротившуюся субъективно-идеалистическую идейку о том, что все человеческое знание об объективной реальности есть «фикция». По мнению этих мракобесов, никакой другой «реальности», кроме реальности наших ощущений, нет. Поэтому все попытки описать объективную реальность лишены смысла.

«Ни одно положение, относящееся к "реальности", выходящей за пределы всякого возможного чувственного опыта, – утверждает семантический идеалист Айер, – не может иметь никакого подлинного значения. Отсюда следует, что труды всех тех, кто стремится описать такого рода реальность, были посвящены производству бессмыслицы»[12].

К этой давно разбитой материализмом скудной идейке и сводится сущность всех софистических ухищрений Рассела, Карнапа, Айера и других.

Отождествление суждения с предложением нужно им именно для того, чтобы протащить в теорию логики субъективно идеалистическое истолкование природы мышления и бытия.

---

[10] См. A. Whitehead. Process and Reality. 1941.

[11] См. Ch. Morris. Foundations of the Theory of Signs. «Encyclopedia of Unified Science», Chicago, 1938.

[12] Alfred S. Ayer. Language Trouth and Logic. L., 1936, стр. 17.

Учение И. В. Сталина об объективном характере законов науки вскрывает полную несостоятельность измышлений семантиков о том, что каждый из нас может «строить свою собственную логику по произволу» и «совершенно произвольно устанавливать правила построения предложений».

И. В. Сталин, критикуя неправильную теорию, отрицавшую существование объективных закономерностей в экономической жизни при социализме, писал:

«Допустим, что мы стали на минутку на точку зрения неправильной теории, отрицающей существование объективных закономерностей в экономической жизни при социализме и провозглашающей возможность "создания" экономических законов, "преобразования" экономических законов. К чему это привело бы? Это привело бы к тому, что мы попали бы в царство хаоса и случайностей, мы очутились бы в рабской зависимости от этих случайностей, мы лишили бы себя возможности не то, что понять, а просто разобраться в этом хаосе случайностей.

Это привело бы к тому, что мы ликвидировали бы политическую экономию как науку, ибо наука не может жить и развиваться без признания объективных закономерностей, без изучения этих закономерностей»[13].

Все сказанное здесь И. В. Сталиным относительно науки относится также и к логике. Логика также не может жить и развиваться без признания существования таких закономерностей процессов правильного мышления, которые не зависят от воли людей.

Если бы в мышлении не существовало таких закономерностей, которые не зависят от воли людей, то область мышления превратилась бы в царство хаоса и случайностей. Мы в этом случае лишили бы себя возможности не то что понять, а просто разобраться в этом хаосе случайностей. Семантики как раз и стремятся превратить логику в царство хаоса и случайностей. Под флагом борьбы со «скудостью содержания и практической

[13] И. С т а л и н . Экономические проблемы социализма в СССР. Госполитиздат, 1952, стр. 85 (курсив наш. – *П. Т.*).

бесполезностью аристотелевской логики»[14] семантики фактически пытаются ликвидировать логику как науку.

В этом факте наглядно проявляется антинаучный, реакционный характер их лжеучений.

Б. Истолкование суждения как сочетания представлений (или понятий)

Значительная часть логиков-идеалистов считает, что то, о *чем* мы нечто утверждаем или отрицаем в суждении, есть представления (или понятия), а то, *что* мы утверждаем или отрицаем в суждении, является определенным отношением между этими представлениями (или понятиями).

Наиболее рельефно эта точка зрения на суждение выражена у Канта и неокантианцев.

Если номиналисты отождествляли суждение с предложением, то Кант и неокантианцы отрывают суждение от предложения. «Прежде чем я имею предложение, – говорит Кант, – я уже должен судить...»[15].

По мнению Канта, суждение есть «соединение представлений в сознании...»[16]. Это соединение представлений в сознании лишь тогда имеет необходимый характер, когда данные представления подводятся под априорные чисто рассудочные понятия[17].

«Если разложить, – говорит Кант, – все наши синтетические суждения, насколько они объективны, то окажется, что они никогда не состоят из одних созерцаний, связанных, как обыкновенно полагают, в суждение только через простое сравнение; они были бы невозможны, если

---

[14] R. Carnap. Abriss der Logistik. Wien, 1929, стр. 1.

[15] И. Кант. Логика. Пг., 1915, стр. 101.

[16] И. Кант. Пролегомены. М., 1937, стр. 73. **Подобного** же рода истолкования суждения мы находим и в сочинениях неокантианцев. Например, согласно В. Виндельбанду, в суждении «устанавливается связь между двумя отдельными содержаниями представлений...» (см. В. Виндельбанд. Прелюдии. СПб., 1904, стр. 3370.

[17] Под чисто рассудочными понятиями Кант подразумевает следующие понятия: единство, множественность, всеобщность, реальность, отрицание, ограничение, субстанция, причина, взаимодействие, возможность, существование, необходимость (см. Пролегомены, стр. 71–72).

бы к отвлеченным от созерцания понятиям не было присоединено еще чистое рассудочное понятие, под которое те понятия подводятся и только таким образом связываются в суждение, имеющее объективное значение»[18].

Таким образом, у Канта истолкование суждения как установления связи или отношений между представлениями или понятиями необходимо связано с идеалистическим истолкованием всей действительности.

Предметы действительности для Канта – это не «вещи сами по себе», существующие независимо от нас, а также и не простые комплексы ощущений, как то полагал, например, Беркли.

По мнению Канта, предметы действительности – это результат синтеза чувственных данных рассудком. Этот синтез как раз и осуществляется в акте суждения.

Акт суждения, связывая представления (или «отвлеченные от созерцания понятия») отношением (в качестве которого выступают чисто рассудочные априорные категории), тем самым создает «объективный предмет» или «предмет опыта».

То, о чем нечто утверждается в суждении, есть, следовательно, представления. То, что утверждается в отношении этих представлений, есть определенное отношение (т. е. априорная чисто рассудочная категория).

Основной софизм кантианского истолкования природы суждения заключается в том, что суждение у кантианцев оказывается чисто субъективным образованием. То, о чем утверждается в суждении, и то, что утверждается, – одинаково субъективно.

Находящиеся вне суждения материальные предметы, или «вещи в себе», по мнению кантианцев, не могут быть предметами суждения, так как они непознаваемы.

Подобного же рода субъективно-идеалистическое

[18] Что касается аналитических суждений, то в них, говорит Кант, в отличие от синтетических суждений, соединение представлений происходит на основании одного только рассудочного закона тождества (см. Пролегомены, стр. 69).

истолкование природы суждения дают и неокантианцы[19].

Отличие неокантианцев от Канта выражается лишь в том, что они вообще отказываются от признания существования материальной действительности, хотя бы и в виде непознаваемых «вещей в себе».

В. Истолкование суждения как отражения действительности

Правильное истолкование природы суждения как утверждения или отрицания чего-либо о чем-либо невозможно дать, если мы будем ограничиваться рассмотрением только языковой оболочки суждения.

Точно так же мы не сможем дать правильного истолкования природы суждения и тогда, когда ограничимся одним лишь анализом отношений между понятиями, являющимися составными частями суждения.

Правильное истолкование природы суждения может быть дано только тогда, когда суждение будет рассматриваться как отражение действительности, существующей вне и независимо от суждения.

При этом следует подчеркнуть, что правильное истолкование суждения как отражения действительности необходимо предполагает признание существования материальных явлений в качестве предметов суждения, т. е. в качестве того, о чем нечто утверждается или отрицается в суждении.

Правда, в действительности существуют не только материальные явления, но также и идеальные явления (т. е. чувства, эмоции, мысли, представления и т. п.).

Эти идеальные явления также, конечно, могут выступать и выступают в процессе познания в качестве предметов суждения. Однако идеальные явления по своей природе являются вторичными, производными образованиями. Они существуют только в качестве отображений материальных явлений.

«...Отображение, – говорит В. И. Ленин, – не может

[19] См., напр., В. Виндельбанд. Прелюдии, СПб., 1904, статья «Система категорий»; Г. Риккерт. Введение в трансцендентальную философию. Киев, 1904.

существовать без отображаемого, но отображаемое существует независимо от отображающего»[20].

Далее, если суждение есть отражение действительности, то это значит, что, утверждая что-либо о предметах действительности, мы отображаем в суждении наличие каких-либо черт, сторон, качеств и т. д. в предмете суждения. Соответственно также отрицая что-либо о предметах действительности, мы отображаем в суждении отсутствие каких-либо черт, сторон и т. д. в предмете суждения.

Таково правильное, материалистическое истолкование суждения как утверждения или отрицания чего-либо о чем-либо.

Важнейшей особенностью этого истолкования, отличающей его от всевозможных идеалистических истолкований природы суждения, является признание существования материальных явлений в качестве предметов суждения.

Идеалисты всех мастей отрицают существование материальных явлений в качестве предметов суждения. Для них не только само суждение, но и предмет суждения есть идеальное явление.

При этом одни идеалисты (например, Гегель) вообще отрицают существование материальных явлений. Другие идеалисты (например, Кант) признают их существование, но утверждают, что материальные явления непознаваемы и поэтому не могут быть предметами суждения.

Отмечая это обстоятельство, следует иметь в виду, что некоторые идеалисты признают вторичный характер суждения по отношению к предмету суждения. Однако от этого они не перестают быть идеалистами, поскольку сам предмет суждения для них есть также не материальное, а идеальное явление.

Примером этой последней точки зрения на суждение может служить теория суждения английского позитивиста Дж. Ст. Милля.

---

[20] В. И. Ленин. Соч., т. 14, стр. 57.

В своей книге «Система логики силлогистической и индуктивной» Милль резко выступил против понимания суждения как установления связи или отношения между представлениями или понятиями.

По мнению Милля, такое понимание суждения является «одним из наиболее роковых заблуждений, вкрадывавшихся когда-либо в философскую часть логики...»[21].

На самом деле, пишет Милль, «предложения (кроме, конечно, тех случаев, когда в них утверждается что-либо о самом духе) утверждают что бы то ни было не относительно наших идей о вещах, но относительно самих вещей… …Когда я утверждаю что бы то ни было относительно идей, – продолжает Милль, – я так их и обозначаю: я называю их идеями; я говорю, например, что идея сражения у ребенка не похожа на действительность...»[22].

Приведенные высказывания Милля могут ввести в заблуждение читателя и внушить ему ложную мысль о том, что Милль в своей логике стоит на материалистических позициях. Однако этот мираж тотчас же рассеется, как только мы уясним себе, что Милль подразумевает под теми предметами действительности, о которых идет речь в суждении. Оказывается, для Милля, так же как и для Юма, предметы суждения (и вообще предметы познания) существуют лишь в форме наших собственных ощущений и никакой другой реальности, помимо реальности наших ощущений, мы в опыте, по их мнению, не находим и не можем найти.

Наличие «доверия к внешнему миру» у всех людей, по мнению Милля, еще не доказывает, что за нашими ощущениями должна быть какая-либо реальность, существующая независимо от нашего сознания. Существование такой реальности, как источника наших ощущений, может быть установлено, по Миллю, только в результате «умственного вывода». Причем все, что мы можем утверждать об этой реальности, ограничивается одним фактом признания ее существования. Ее сущность

[21] Дж. Ст. Милль. Система логики. М., 1914, стр. 77.

[22] Там же.

недоступна для наших способностей[23]. Такие слова, как «вещество», «материя» и т. п., употребляемые для обозначения неизвестного источника наших ощущений, имеют положительное значение только тогда, когда мы под ними понимаем не что иное, как «постоянную возможность ощущений».

Таким образом, в понимании природы предметов суждения Милль выступает, как типичный агностик и субъективный идеалист, воззрения которого, по характеристике В. И. Ленина, ничем существенным не отличаются от философии Юма. «Скажем ли мы, что материя есть постоянная возможность ощущений (по Дж. Ст. Миллю) или что материя есть более или менее устойчивые комплексы "элементов" – ощущений (по Э. Маху), – мы остались *в пределах* агностицизма или юмизма…»[24].

Как видно на примере Милля, одного только признания предметного характера суждения далеко не достаточно для правильного материалистического понимания природы суждения.

Идеалисты могут, подобно Миллю, признавать, что суждение есть утверждение или отрицание чего-либо о предметах действительности, истолковывая «предметы действительности» как «явление в нас», а материальную действительность, существующую независимо от нас, объявляя непознаваемой.

Правильное истолкование суждения как утверждения или отрицания чего-либо о чем-либо необходимо предполагает: 1) признание материальных предметов в качестве предметов суждения; 2) признание того, что выступающие в качестве предметов суждения идеальные предметы суть производные явления, которые существуют в действительности только в качестве отображений материальных предметов.

Кто отрицает существование материальных предметов и производный характер идеальных предметов, тот остается на идеалистических позициях, даже и в том случае, если он будет признавать предметный характер суждения. <…>

---

[23] См. Дж. Ст. Милль. Обзор философии Гамильтона. СПб., 1869, стр. 8.
[24] В. И. Ленин. Соч., т. 14, стр. 96.

В приведенном фрагменте так много поражающих воображение особенностей советского научного дискурса, что в его реальность трудно поверить. Однако если отвлечься от формы подачи материала, можно обнаружить, что в итоге все рассуждение приходит к тому, что все направления в конечном счете определяют суждение одинаково – с учетом дискурсивных особенностей каждого конкретного направления. При этом накала борьбы данный факт не снижает и не может снизить (вспомним, что одного того, что некоторое определение верно, еще не могло бы быть достаточно для принятия представителями разных направлений). Это очень показательно сразу в двух разных аспектах: с одной стороны, это подтверждает, что за результат исследования «отвечает» не направление и даже не научная школа или парадигма, а добросовестное применение научной методологии конкретным добросовестным исследователем, а с другой – подчеркивает роль этих самых дискурсивных особенностей во всем, что связано с людьми, в том числе и в науке – для того, чтобы стать «своим» недостаточно просто получить тот или иной результат, нужно еще «правильно себя вести». Начинающим ученым в силу возраста и темперамента свойственно недооценивать значимость этого фактора. «Дергать кошку за усы», например, затевая дискуссию о языках программирования или по другим аналогичным «культурным» вопросам, можно и нужно в тех случаях, когда это для чего-то полезно, и только в таких.

В то же время нельзя отрицать, что замыкание в собственном дискурсе может служить (и часто служит) исследователям дурную службу. Примирить стремления не нарушать неписаных правил и выходить за всяческие рамки и границы – можно. Довольно продуктивным видится, например, использование для проверки жизнеспособности своего теоретического построения наложения понятийной системы не другой научной школы, а вообще другой отрасли знаний. Если исследователь обнаружил лакуну в описании системы, принятом в данный момент наукой, которая, как ему кажется, должна быть заполнена определенным образом (то есть гипотеза исследователя состоит в том, что *есть лакуна*, ее

следует заполнить и заполнить *именно X*), то одним из методов, которым он может рассуждать (это будет, кстати, правдоподобное рассуждение по Пойя), будет аналогия с описанием другой системы в другой науке, в которой данная лакуна заполнена. Однако тут нужно довольно аккуратно установить аналогичность накладываемых один на другой фрагментов систем, иначе это будет уже не правдоподобное рассуждение, а притягивание за уши.

Например, допустим, у вас возникает ощущение, что, хотя нет никаких явных противопоказаний против реализации Z (то есть реализация не противоречит стандартам, относящимся к делу), она «какая-то не такая». Ссылаться на ощущение – хотя оно может базироваться на опыте и навыках и быть совершенно правильным – не вполне прилично, если вы не в среде своего коллектива, а тем более, если вы критикуете чужой подход. В такой ситуации свое ощущение надо постараться пропустить через критерии научности и оформить в соответствии с ними. Как мы договорились, в этом гипотетическом случае реализация соответствует стандарту, поэтому отклонить ее по формальному признаку не получится.

Как правило, это ощущение «неправильности» будет связано с тем, что реализация не соответствует «обычаю». И фактически, чтобы выдвинуть это обвинение, вам надо убедиться, что этот аргумент вообще может претендовать на то, чтобы приниматься во внимание. Имеет ли смысл говорить об обычае, если есть стандарт? Все сделанное по стандарту должно считаться правильным или одно может быть «правильнее», чем другое?

Еще один пример из той же парадигмы. Есть некоторое множество возможностей реализации обмена сигналами между платой контроллера и материнской платой. Для этого служат выводы разъема, их много – это так называемая гребенка, и часть из них уже занята подо что-то, а часть еще свободна. Это надо знать, чтобы работа контроллера не причиняла ущерба каким-нибудь другим важным функциям в работе материнской платы.

Казалось бы, напрашивается логичное решение – использовать свободные разъемы. Однако если проектируется универсальное устройство (в данном случае под универсальностью понимаем единую реализацию для любой материнской платы (или хотя бы большинства)), то нужно учитывать, что этой же логикой могут руководствоваться и другие разработчики, в результате чего в один прекрасный день таки произойдет конфликт. В этой ситуации может быть признано более удачным решение использовать выводы, которые уже заняты, но чем-то не оказывающим влияния на общее функционирование системы, например, переключение лампочек на материнской плате, которые не видны снаружи корпуса и, значит, не понадобятся в процессе штатного функционирования компьютера. Существенно менее вероятно, что другим разработчиком тоже будет предпринято именно такое действие.

В то же время, если создается устройство для работы в составе конкретного автоматизированного рабочего места, который известен и описан, в такой предосторожности нет необходимости, и вполне логично использовать «свободные» разъемы.

Что общего у этих двух ситуаций и какое они имеют отношение к описанному приему наложения понятийных полей разных отраслей знаний одного на другое?

Их, по-видимому, объединяет влияние на принятие решения относительно конкретной реализации какого-то дополнительного ограничивающего фактора, не относящегося ни к схеме (полному перечню возможностей), ни к стандарту (рекомендуемому использованию возможностей). *Обычая*. Сомнения в том, насколько правомерно включение в строгое рассуждение такого фактора, могут быть поколеблены (хотя, безусловно, не сняты совсем – рассуждение по аналогии дает только правдоподобный результат, то есть усиливает или ослабляет нашу уверенность в предположении) аналогией из лингвистики, где принят понятийный ряд «схема – норма – узус – акт». Аналогия довольно прямая: схема тут – это все возможности языковой единицы (не важно какой, этот понятийный ряд релевантен всем уровням, от фонетики до стилистики) вступать в какие-либо связи, норма – это

те из возможностей, что являются «кодифицированными» – закреплены в качестве языковой нормы словарями или грамматиками, узус – это то, как фактически эта языковая единица употребляется носителями языка, а акт – это конкретный случай использования единицы конкретным человеком.

Так же, как и в технике, в общем случае это понятия концентрически подчиненные, то есть *норма* полностью находится внутри *схемы*, но у́же, чем схема, *узус* – внутри *нормы*, но у́же нормы, *акт* – внутри *узуса (обычая)*, но у́же обычая. Однако бывают и исключения – относительно каких-то единиц объемы некоторых из этих понятий могут совпадать (например, довольно часто узус совпадает с нормой) или, наоборот, частично или полностью не совпадать (нельзя не признать, что в рамках конкретного речевого акта мы иногда выдаем довольно экзотические варианты употребления языковых единиц, которые могут быть далеки не только от нормы, но и от узуса). Когда несовпадение узуса и нормы становится общепризнанным – может измениться норма, как в случае с родом слова «кофе». Все это довольно точно накладывается на положение дел в технике, а значит, имеет смысл рассмотреть пристальнее возможность и целесообразность включения «обычая» в перечень «законных» факторов, потенциально влияющих не только на выбор реализации, но и на стандарты.

Обещанные несколько слов о научных парадигмах хотелось бы свести к следующему. Ввел в научный оборот это понятие Т. С. Кун, книга которого [Кун] включена в список дополнительной литературы по данному курсу. В дополнениях 1969 г. Кун пишет о том, что в первоначальном варианте его книги слово «парадигма» используется *по крайней мере* двадцатью двумя разными способами [Кун. С. 237], которые в конечном счете он сводит к двум, из которых одно (примерно «общепринятые образцы») он считает для себя основным. Чтобы лучше проникнуться мыслями автора на этот счет, лучше всего обратиться к фрагменту «Дополнений».

Кун Т. С. Структура научных революций. С. 227–249.

Прошло почти семь лет с тех пор, как эта книга была впервые опубликована[25]. За это время и мнения критиков, и моя собственная дальнейшая работа улучшили мое понимание поднятых в ней проблем. В своей основе моя точка зрения осталась почти неизменной, но я осознаю теперь, какие именно аспекты ее первоначальной формулировки породили ненужные трудности и неверное толкование. Поскольку в этом в известной степени виноват я сам, освещение этих аспектов поможет мне продвинуться вперед, что в конечном счете может дать основу для нового варианта данной книги[26]. Так или иначе, я рад случаю наметить необходимые исправления, дать комментарии к некоторым неоднократно высказывавшимся критическим замечаниям и наметить направления, по которым развиваются в настоящее время мои собственные взгляды[27].

Некоторые наиболее существенные трудности, с которыми столкнулось понимание моего первоначального текста, концентрируются вокруг понятия парадигмы, и мое

[25] Этот постскриптум был впервые подготовлен по предложению д-ра Сигеру Накаяма из Токийского университета, бывшего недолго моим студентом, но надолго оставшегося моим другом, к сделанному им японскому переводу этой книги. Я благодарен ему за идею, за его терпеливое ожидание ее созревания и за его разрешение включить результат этой работы в издание книги на английском языке.

[26] К настоящему изданию я постарался не предпринимать никакой систематической доработки, лишь ограничившись некоторыми исправлениями типографских ошибок. Были изменены также два отрывка, которые содержали ошибки, не имеющие значения для общего хода рассуждений. Одна из них состоит в описании роли <Начал> Ньютона в развитии механики XVIII века, другая касается реакции на кризис.

[27] Другие наметки можно найти в двух моих последних работах: «Reflection on My Critics», in: I. Lakatos and A. Musgrave (eds.). Criticism and the Growth of Knowledge. Cambridge, 1970; Second Thoughts on Paradigms, in: F. Suppe (ed.). The Structure of Scientific Theories, Urbana, III, 1974. Я буду цитировать первую из этих работ ниже, сокращенно называя ее «Reflections», а книгу, в которой она вышла в свет, – «Growth of Knowledge»; вторая работа будет упоминаться под названием «Second Thoughts».

обсуждение начинается именно с них[28]. В параграфе, который следует дальше, я предполагаю, что для того, чтобы выйти из затруднительного положения, целесообразно отделить понятие парадигмы от понятия научного сообщества, и указываю на то, как это можно сделать, а также обсуждаю некоторые важные следствия, являющиеся результатом такого аналитического разделения. Далее я рассматриваю, что происходит, когда парадигмы отыскиваются путем изучения поведения членов ранее определившегося научного сообщества. Это быстро обнаруживает, что термин «парадигма» часто используется в книге в двух различных смыслах. С одной стороны, он обозначает всю совокупность убеждений, ценностей, технических средств и т. д., которая характерна для членов данного сообщества. С другой стороны, он указывает один вид элемента в этой совокупности – конкретные решения головоломок, которые, когда они используются в качестве моделей или примеров, могут заменять эксплицитные правила как основу для решения не разгаданных еще головоломок нормальной науки. Первый смысл термина, назовем его социологическим, рассматривается ниже, во 2-м параграфе; 3-й параграф посвящен парадигмам как образцовым достижениям прошлого.

По крайней мере в философском отношении этот второй смысл «парадигмы» является более глубоким, и требования, которые я выдвинул, употребив этот термин, являются главными источниками споров и неверного понимания, вызванных книгой, и особенно обвинения в том, что я представил науку как субъективное и иррациональное

[28] Особенно убедительная критика моего первоначального представления парадигм дана в: M. Masterman. The Nature of a Paradigm, in: «Growth of Knowledge»; D. Shapere. The Structure of Scientific Revolutions. – «Philosophical Review», LXXIII, 1964, p. 383–394.

предприятие. Эти вопросы рассматриваются в 4-м и 5-м параграфах. В 4-м параграфе доказывается, что термины, подобные терминам «субъективное» и «интуитивное», не могут адекватным образом применяться к компонентам знания, которые я описал как неявно присутствующие в общепризнанных примерах. Хотя такое знание не может быть перефразировано на основе правил и критериев без его существенного изменения, тем не менее оно является систематическим, выдержавшим проверку временем и в некотором смысле может быть исправлено. В 5-м параграфе речь идет о проблеме выбора между двумя несовместимыми теориями, причем делается краткий вывод, что людей с несоизмеримыми точками зрения можно представить в качестве членов различных языковых сообществ и что проблемы коммуникации между ними могут быть анализируемы как проблемы перевода. Три остальные проблемы обсуждаются в последних параграфах – в 6-м и 7-м. В 6-м параграфе рассматривается обвинение в том, что концепция науки, развиваемая в этой книге, является насквозь релятивистской. 7-й параграф начинается с выяснения вопроса, действительно ли страдает моя аргументация, как утверждают некоторые, от путаницы между описательными и нормативными моделями, и завершается краткими замечаниями по вопросу, заслуживающему отдельного очерка, а именно, в какой степени правомерно применение основных тезисов данной книги вне сферы науки.

1. Парадигмы и структура научного сообщества

Термин «парадигма» вводится на первых же страницах книги, причем способ его введения таит в себе логический круг. Парадигма – это то, что объединяет членов научного

сообщества, и, наоборот, научное сообщество состоит из людей, признающих парадигму. Хотя не всякий логический круг является порочным (я буду защищать подобный аргумент ниже), однако в данном случае логический круг является источником реальных трудностей. Научные сообщества могут и должны быть выделены как объект без обращения к парадигме; последняя может быть обнаружена затем путем тщательного изучения поведения членов данного сообщества. Если бы эту книгу надо было написать заново, то ее следовало бы начать с рассмотрения сообщества как особой структуры в науке, с вопроса, который с недавних пор стал важным предметом социологического исследования и к которому историки науки также начинают присматриваться с должной серьезностью. Предварительные результаты, многие из которых еще не опубликованы, наводят на мысль, что средства эмпирического исследования сообществ отнюдь не тривиальны, но все же некоторые из них уже освоены, а другим, безусловно, еще предстоит быть в достаточной степени разработанными[29]. Большинство ученых-исследователей сразу решают вопрос о своей принадлежности к научному сообществу, считая само собой разумеющимся, что принадлежность к данной группе хотя бы в общих чертах определяет ответственность за различную специализацию внутри группы. Поэтому я допускаю здесь, что для их идентификации можно найти более систематические средства. Вместо того чтобы представлять

[29] W. O. Hagstrom. The Scientific Community. N. Y., 1965, ch. IV and V; D. J. Price and D. de B. Beaver. Collaboration in an Invisible College. – «American Psychologist», XXI, 1966, p. 1011–1018; D. Crane. Social Structure in a Group of Scientists: A Test of the «Invisible College» Hypothesis. — «American Sociological Review», XXXIV, 1969, p. 335–352; N. C. Mullins. Social Networks among Biological Scientists, Ph. D. diss., Harvard University, 1966, and «The Micro-Structure of an Invisible College: The Phage Group» (Сообщение на ежегодном заседании Американской социологической ассоциации, Бостон, 1968).

предварительные результаты исследования, позвольте мне кратко пояснить те интуитивные представления о научном сообществе, которые главным образом легли в основу предыдущих разделов книги. Это те самые представления, которые сейчас широко распространены среди ученых, социологов и многих историков науки.

Согласно этим представлениям, научное сообщество состоит из исследователей с определенной научной специальностью. В несравнимо большей степени, чем в большинстве других областей, они получили сходное образование и профессиональные навыки; в процессе обучения они усвоили одну и ту же учебную литературу, извлекли из нее одни и те же уроки. Обычно границы этой литературы отмечают границы предмета научного исследования, а каждое научное сообщество, как правило, имеет свой собственный предмет исследования. Есть научные школы, то есть сообщества, которые подходят к одному и тому же предмету с несовместимых точек зрения. Но в науке это бывает значительно реже, чем в других областях человеческой деятельности; такие школы всегда конкурируют между собой, но конкуренция обычно быстро заканчивается. В результате члены научного сообщества считают себя и рассматриваются другими в качестве единственных людей, ответственных за разработку той или иной системы разделяемых ими целей, включая и обучение учеников и последователей. В таких группах коммуникация бывает обычно относительно полной, а профессиональные суждения относительно единодушными. Поскольку, с другой стороны, внимание различных научных сообществ концентрируется на различных предметах исследования, то профессиональные коммуникации между обособленными научными группами иногда затруднительны; результатом

оказывается непонимание, а оно в дальнейшем может привести к значительным и непредвиденным заранее расхождениям.

Сообщества в этом смысле существуют, конечно, на множестве уровней. Наиболее глобальным является сообщество всех представителей естественных наук. Немного ниже в этой системе основных научных профессиональных групп располагается уровень сообществ физиков, химиков, астрономов, зоологов и т. п. Для этих больших группировок установить принадлежность того или иного ученого к сообществу не составляет большого труда, за исключением тех, которые располагаются ближе к периферии сообщества. Когда речь идет о сложившихся дисциплинах, членство в профессиональных обществах и чтение журналов – вот более чем достаточные признаки этой принадлежности. Подобным образом выделяются также большие подгруппы: специалисты по органической химии, а среди них, возможно, химии белков, специалисты по физике твердого тела и физике высоких энергий, специалисты по радиоастрономии и т. д. Только на следующем, более низком уровне возникают эмпирические проблемы. Каким образом, если взять современный пример, должна быть выделена группа специалистов, изучающих бактериофаги, прежде чем эта группа каким-то образом публично оформится? Для этой цели следует побывать на специальных конференциях, изучить распределение планов написания рукописей или прочитать гранки будущих публикаций, а главное, прибегнуть к изучению формальных и неформальных систем коммуникаций, включая и те, которые раскрываются в переписке и способах цитирования[30]. Я считаю, что такая

[30] E. Garfield. The Use of Citation Data in Writing the History of Science, Philadelphia. Institute of Scientific Information, 1964; M. M. Kessler. Comparison of the Results of

работа может быть проделана и будет проделана по крайней мере в сфере современной науки и недавней ее истории. Как правило, такому исследованию поддаются сообщества, состоящие, может быть, из ста членов, иногда значительно меньшие. Обычно отдельные ученые, особенно наиболее талантливые, принадлежат либо одновременно, либо последовательно к нескольким группам такого типа.

Сообщества данного вида – это те элементарные структуры, которые в настоящей книге представлены как основатели и зодчие научного знания. Парадигмы являют собой нечто такое, что принимается членами таких групп. Многие аспекты науки, описанные на предшествующих страницах, едва ли могут быть поняты без обращения к природе этих разделяемых сообществом элементов знания. Но другие аспекты можно изучить и без обращения к природе сообщества, хотя в книге я специально не останавливался на этих аспектах. Таким образом, прежде чем обращаться непосредственно к парадигмам, целесообразно рассмотреть ряд вопросов, которые для своего разрешения требуют анализа структуры сообществ.

Вероятно, наиболее острый из этих вопросов состоит в том, что я раньше называл переходом от до- к постпарадигмальному периоду в развитии научной дисциплины. Этот переход обрисован выше во II разделе. Прежде чем он происходит, ряд школ претендует на то, чтобы занять господствующее положение в данной области науки. Затем, вслед за некоторыми существенными научными достижениями, круг школ значительно сужается (обычно до одной), и начинается более эффективная форма научной

Bibliographic Coupling and Analytic Subject Indexing. – «American Documentation», XVI. 1965, p. 223–233; D. J. Price. Networks of Scientific Papers. – «Science», CIL, 1965, p. 510–515.

деятельности. Последняя бывает, как правило, эзотерической и направленной на решение головоломок. Такая работа группы возможна только тогда, когда ее члены считают основания их дисциплины не требующими доказательств.

Природа этого перехода к зрелости заслуживает более полного обсуждения, чем она получила в данной книге; в особенности она должна интересовать тех, кто изучает развитие современных социальных наук. Здесь может быть полезно уяснить, что такой переход не нуждается (и, как я теперь думаю, не должен нуждаться) в том, чтобы его связывали с первым приобретением парадигмы. Для членов всех научных сообществ, включая школы допарадигмального периода, общими являются виды элементов, которые я в совокупности называл «парадигмой». Переход к зрелости не затрагивает существования парадигмы, а, скорее, изменяет ее природу. Только после такого изменения возможна нормальная исследовательская деятельность по решению головоломок. Многие характерные черты развития науки, которые выше были связаны с приобретением парадигмы, я мог бы, следовательно, рассматривать теперь как последствия применения некоторой парадигмы, которая идентифицирует трудные загадки, предлагая ключи к их решению, и гарантирует, что действительно способный исследователь непременно добьется успеха. Вероятно, только те, кто черпает уверенность в сознании того, что их собственная научная дисциплина (или школа) располагает парадигмами, могут почувствовать, что переход к новой парадигме будет сопровождаться принесением в жертву чего-то весьма существенного.

Второй вопрос, более важный, по крайней мере для историков, заключается в том, что в данной книге научные сообщества отождествляются, хотя бы в неявном виде, с

отдельными областями научного исследования. Такая идентификация встречается у меня в нескольких местах, поскольку, скажем, «физическая оптика», «электричество» и «теплота» должны обозначать также научные сообщества, ибо эти слова указывают на предмет исследования. Единственная альтернатива такому пониманию, которую, кажется, позволяет моя книга, заключается в том, что все эти предметы принадлежат научному сообществу физиков. Идентификация этого вида обычно не выдерживает проверки, как неоднократно указывали мои коллеги по истории науки. Не было, например, никакого физического сообщества до середины XIX века. Оно было образовано позднее в результате слияния двух ранее отдельных сообществ: математиков и представителей натуральной философии (physique experimental). То, что сегодня составляет предмет исследования для одного широкого научного сообщества, было так или иначе распределено среди различных сообществ в прошлом. Другие, более узкие предметы исследования, например, теплота и теория строения материи, существовали длительные периоды времени, не превращаясь в особую часть какого-либо отдельного научного сообщества. И нормальная наука, и научные революции являются тем не менее видами деятельности, основанными на существовании сообществ. Чтобы раскрыть и изучить эти деятельности, следует прежде всего объяснить диахроническое изменение структуры сообществ в науке. В первую очередь парадигма управляет не областью исследования, а группой ученых-исследователей. Любой анализ исследования, направляемого парадигмой или ведущего к потрясению ее основ, должен начинаться с определения ответственной за проведение этого исследования группы или групп.

Когда к анализу развития науки подходят таким путем, некоторые из трудностей, которые были центром внимания для критики, вероятно, должны исчезнуть. Целый ряд комментаторов, например, использовал теорию строения материи, чтобы внушить мысль, что я слишком уж преувеличил единодушие ученых в их приверженности парадигме. Еще сравнительно недавно, указывают они, эти теории были объектами постоянных разногласий и дискуссий. Я согласен с замечанием, но, думаю, что оно не может служить в качестве контрпримера. Теории строения материи не были, по крайней мере приблизительно до 1920 года, особой областью или предметом исследования для некоторого научного сообщества. Вместо этого они были инструментами для большого числа групп различных специалистов. Члены различных сообществ иногда выбирали различные инструменты и критиковали выбор, сделанный другими. Еще более важно, что теории строения материи не являются тем видом проблемы, относительно которой даже члены одного и того же научного сообщества обязательно должны соглашаться. Необходимость в соглашении зависит от того, чем занимается данное сообщество. Химия в первой половине XIX века может служить в этом смысле примером. Хотя некоторые из основных инструментов научного сообщества – постоянство состава, кратные отношения и атомные веса – стали общепринятыми благодаря атомистической теории Дальтона, химики после создания этой теории вполне могли основывать свои работы на данных инструментах и тем не менее спорить, иногда очень страстно, по вопросу о существовании самих атомов.

Точно так же можно разрешить, я уверен, и некоторые другие трудности и недоразумения. Частично вследствие примеров, которые я выбрал, а частично вследствие

неясности рассуждений о природе и размерах соответствующих научных сообществ, некоторые читатели книги сделали вывод, что меня прежде всего или исключительно интересуют крупные научные революции, такие революции, которые связаны с именами Коперника, Ньютона, Дарвина или Эйнштейна. Более ясное изображение структуры сообществ, однако, помогло бы усилить совершенно иное впечатление, создать которое было моей целью. Для меня революция представляет собой вид изменения, включающего определенный вид реконструкции предписаний, которыми руководствуется группа. Но оно не обязательно должно быть большим изменением или казаться революционным тем, кто находится вне отдельного (замкнутого) сообщества, состоящего, быть может, не более чем из 25 человек. Именно потому, что указанный тип изменения, менее признанный или редко рассматриваемый в литературе по философии науки, возникает так регулярно на этом уровне, требуется понимание природы революционных изменений как противоположных кумулятивным.

Еще одна поправка, тесно связанная со всем предшествующим, может помочь облегчить это понимание. Ряд критиков сомневался, предшествует ли кризис, то есть общее сознание, что что-то происходит не так, революции в науке с такой же неизбежностью, как предполагалось в моем первоначальном тексте. Однако ничего существенного в моих аргументах не ставится в зависимость от той предпосылки, что революциям неизбежно предшествуют кризисы; надо признать лишь, что обычно кризисы служат как бы прелюдией, то есть предпосылкой, питающей саморегулирующийся механизм, который дает нам уверенность в том, что прочность нормальной науки не будет вечно непоколебимой. Революции

могут быть вызваны и иначе, хотя я думаю, что это бывает редко. Кроме того, я хотел бы теперь указать, что вышеупомянутые неясности вызвало отсутствие адекватного обсуждения структуры сообществ: кризисы не должны обязательно порождаться работой сообщества, которое испытывает их воздействие и которое иногда подвергается революции в результате кризиса. Новые средства исследования, инструменты, вроде электронного микроскопа, или новые законы, подобные законам Максвелла, могут развиваться в пределах одной области науки, а их восприятие создает кризис в другой.

2. Парадигмы как наборы предписаний для научной группы

Вернемся теперь к парадигмам и выясним, что могут они представлять собой. Это наиболее важный и в то же время неясный вопрос из числа оставшихся не решенными в первом издании. Один благосклонный читатель, который разделяет мое убеждение относительно того, что словом «парадигма» называются главные философские элементы книги, подготовил частичный аналитический указатель и сделал вывод, что этот термин используется по крайней мере двадцатью двумя различными способами[31]. Большинство из этих различий появляется, я думаю, из-за стилистической несогласованности (например, законы Ньютона оказываются иногда парадигмой, иногда частями парадигмы, а иногда имеют парадигмальный характер, то есть заменяют парадигму). Эти стилистические расхождения могут быть сравнительно легко устранены. Но с завершением этой редакторской работы остаются два различных употребления этого термина. В данном параграфе

[31] M a s t e r m a n. Opt. cit.

рассматривается более общее использование этого термина, в следующем – второй его смысл.

Выделяя особое сообщество специалистов способом, подобным тем, которые только что обсуждались, было бы полезно спросить: что объединяет его членов? (Тем самым мы выясним относительную полноту их профессиональной коммуникации и относительное единодушие их профессиональных суждений.) Парадигма или множество парадигм – такой ответ на поставленный вопрос дает первоначальный текст моей книги. Но для такого использования, отличающегося от того, которое будет обсуждаться ниже, термин «парадигма» не подходит. Ученые сами обычно говорят, что они разделяют теорию или множество теорий, и я буду рад, если этот термин окажется в конечном счете все же применимым и в этом случае. Однако термин «теория» в том смысле, в каком он обычно используется в философии науки, обозначает структуру, намного более ограниченную по ее природе и объему, чем структура, которая требуется здесь. До тех пор, пока термин может быть свободен от произвольных домыслов, следует избегать введения другого во избежание недоразумений. С этой целью я предлагаю термин «дисциплинарная матрица»: «дисциплинарная» потому, что она учитывает обычную принадлежность ученых-исследователей к определенной дисциплине; «матрица» потому, что она составлена из упорядоченных элементов различного рода, причем каждый из них требует дальнейшей спецификации. Все или большинство предписаний из той группы предписаний, которую я в первоначальном тексте называю парадигмой, частью парадигмы или как имеющую парадигмальный характер, являются компонентами дисциплинарной матрицы. В этом качестве они образуют единое целое и

функционируют как единое целое. Тем не менее я не стану рассматривать их в дальнейшем так, как если бы они составляли единое целое. Я не буду пытаться здесь представить их исчерпывающий список, но не могу не заметить, что главные виды компонентов, составляющих дисциплинарную матрицу, в одно и то же время выясняют сущность моего собственного подхода в настоящее время и подводят читателя к следующему главному моменту.

Один из важных видов компонентов, составляющих матрицу, я буду называть «символическими обобщениями», имея в виду те выражения, используемые членами научной группы без сомнений и разногласий, которые могут быть без особых усилий облечены в логическую форму типа (x)(y) (z)Ф(x, y, z). Они представляют собой компоненты дисциплинарной матрицы, которые имеют формальный характер или легко формализуются. Иногда они получают символическую форму в готовом виде с самого начала, с момента их открытия: F = ma или I = V/R. В других случаях они обычно выражаются словами, например: «элементы соединяются в постоянных весовых пропорциях» или «действие равно противодействию». Только благодаря общему признанию выражений, подобных этим, члены научной группы могут применять мощный аппарат логических и математических формул в своих усилиях по решению головоломок нормальной науки. Хотя пример таксономии подсказывает, что нормальная наука может развиваться на основе лишь небольшого числа подобных выражений, мощь научной дисциплины, как представляется, должна, вообще говоря, возрастать по мере того, как увеличивается число символических обобщений, поступающих в распоряжение ученых-исследователей.

Эти обобщения внешне напоминают законы природы, их функция, как правило, не ограничивается этим для членов

научной группы. Но иногда они выступают как законы, например, закон Джоуля-Ленца: H = RI2. Когда этот закон был открыт, члены научного сообщества уже знали, что означают H, R и I, и это общение просто сообщило им о поведении теплоты, тока и сопротивления нечто такое, чего они не знали раньше. Однако, как показывает все обсуждение вопроса в книге, более часто символические обобщения выполняют в то же время вторую функцию, которая обычно резко отделяется от первой исследователями в области философии науки. Подобно законам F = ma или I = V/R, эти обобщения функционируют не только в роли законов, но и в роли определений некоторых символов, которые они содержат. Более того, соотношение между нераздельно связанными способностями установления законов и дефинирования изменяется с течением времени. Эти проблемы заслуживают более детального анализа, поскольку природа предписаний, вытекающих из закона, значительно отличается от природы предписаний, основывающихся на определении. Законы часто допускают частичные исправления в отличие от определений, которые, будучи тавтологиями, не позволяют подобных поправок. Например, одно из требований, вытекающих из закона Ома, состояло в том, чтобы заново определить как понятие «ток», так и понятие «сопротивление». Если бы эти термины употреблялись в своем прежнем смысле, закон Ома был бы неверен. Именно поэтому он встретил столь сильные возражения в отличие, скажем, от того, как был принят закон Джоуля-Ленца[32]. По всей вероятности, это типичная

[32] Описание этого эпизода в его основных моментах см.: T. M. Brown. Electric Current in Early Nineteenth-Century French Physics. – «Historical Studies in the Physical Sciences», I, 1969, p. 61–103; M. Schagrin. Resistance to Ohm's Law. – «American Journal of Physics», XXI, 1963, p. 536–547.

ситуация. В настоящее время даже подозреваю, что все революции, помимо всего прочего, влекут за собой отказ от обобщений, сила которых покоилась раньше в какой-то степени на тавтологиях. Показал ли Эйнштейн, что одновременность относительна, или он изменил само понятие одновременности? Разве те, кому казалась парадоксальной фраза «относительность одновременности», просто заблуждались?

Рассмотрим теперь второй тип компонентов, составляющих дисциплинарную матрицу. Об этом типе многое было сказано в моем основном тексте. Это такие составляющие матрицы, которые я называю «метафизическими парадигмами» или «метафизическими частями парадигм». Я здесь имею в виду общепризнанные предписания, такие, как: теплота представляет собой кинетическую энергию частей, составляющих тело; все воспринимаемые нами явления существуют благодаря взаимодействию в пустоте качественно однородных атомов, или, наоборот, благодаря силе, действующей на материю, или благодаря действию полей. Если бы мне пришлось переписать теперь книгу заново, я бы изобразил такие предписания, как убеждения в специфических моделях, и расширил бы категориальные модели настолько, чтобы они включали также более или менее эвристические варианты: электрическую цепь можно было бы рассматривать как своего рода гидродинамическую систему, находящуюся в устойчивом состоянии; поведение молекул газа можно было бы сопоставить с хаотическим движением маленьких упругих биллиардных шариков. Хотя сила предписаний научной группы меняется вдоль спектра концептуальных моделей, начиная от эвристических и кончая онтологическими моделями, а отсюда, между прочим, вытекает ряд

нетривиальных следствий, – все модели имеют тем не менее сходные функции. Помимо всего прочего, они снабжают научную группу предпочтительными и допустимыми аналогиями и метафорами. Таким образом, они помогают определить, что должно быть принято в качестве решения головоломки и в качестве объяснения. И, наоборот, они позволяют уточнить перечень нерешенных головоломок и способствуют в оценке значимости каждой из них. Заметим, однако, что члены научных сообществ вовсе не обязаны соглашаться со своими коллегами по поводу даже эвристических моделей, хотя обычно они и склонны к этому. Я уже указывал, что для того, чтобы входить в сообщество химиков в течение первой половины XIX столетия, не было необходимости верить в существование атомов.

В качестве третьего вида элементов дисциплинарной матрицы я рассматриваю ценности. Обычно они оказываются принятыми среди различных сообществ более широко, чем символические обобщения или концептуальные модели. И чувство единства в сообществе ученых-естественников возникает во многом именно благодаря общности ценностей. Хотя они функционируют постоянно, их особенная важность обнаруживается тогда, когда члены того или иного научного сообщества должны выявить кризис или позднее выбрать один из несовместимых путей исследования в их области науки. Вероятно, наиболее глубоко укоренившиеся ценности касаются предсказаний: они должны быть точными; количественные предсказания должны быть предпочтитель-нее по сравнению с качественными; в любом случае следует постоянно заботиться в пределах данной области науки о соблюдении допустимого предела ошибки и т. д. Однако существуют и такие ценности, которые используются для вынесения решения в отношении целых теорий: прежде всего,

и это самое существенное, они должны позволять формулировать и решать головоломки. Причем по возможности эти ценности должны быть простыми, не самопротиворечивыми и правдоподобными, то есть совместимыми с другими, параллельно и независимо развитыми теориями. (Я теперь думаю, что недостаток внимания к таким ценностям, как внутренняя и внешняя последовательность в рассмотрении источников кризиса и факторов в выборе теории, представлял собой слабость моего основного текста.) Существуют точно так же другие виды ценностей, например, точка зрения, что наука должна (или не должна) быть полезной для общества, однако из предшествующего изложения уже ясно, что я имею в виду. Об одном аспекте общепринятых ценностей следует, однако, упомянуть особо. В значительно большей степени, чем другие виды компонентов дисциплинарной матрицы, ценности могут быть общими для людей, которые в то же время применяют их по-разному. Суждения о точности, хотя и не полностью, но по крайней мере относительно, стабильны для различных моментов времени и для различных членов конкретной научной группы. Но суждения о простоте, логичности, вероятности и т. п. часто значительно расходятся у различных лиц. То, что было для Эйнштейна совершенно неуместно в старой квантовой теории, что делало невозможным развитие нормальной науки, – все это для Бора и других физиков казалось трудностью, на разрешение которой можно было надеяться, полагаясь на средства самой нормальной науки. Что еще более важно в тех ситуациях, в которых следовало бы прибегнуть к ценностям, так это то, что различные ценности, использованные изолированно от других, часто обычно предопределяли и различный выбор средств для преодоления трудностей. Одна теория может быть более точной, но менее

последовательной или правдоподобной, чем другая. Примером этого может служить опять-таки старая квантовая теория. Короче говоря, хотя ценности бывают широко признанными среди ученых и хотя обязательства по отношению к ним определяют и глубину и конструктивность науки, тем не менее конкретное применение ценностей иногда сильно зависит от особенностей личности и биографий, которые отличают друг от друга членов научной группы.

Для многих читателей предшествующих разделов эта характеристика воздействия общепринятых ценностей показалась явным признаком слабости моей позиции. Поскольку я настаиваю на том, что общепринятые ценности сами по себе еще не являются достаточными для того, чтобы обеспечивать полное согласие относительно таких вопросов, как выбор между конкурирующими теориями или различение обычной аномалии и аномалии, таящей в себе начало кризиса, то неожиданно для самого себя я был обвинен в прославлении субъективности и даже иррациональности[33]. Но эта реакция игнорирует две характеристики, на которые указывают ценностные суждения в любой области. Во-первых, общепринятые ценности могут быть важными детерминантами поведения группы даже в том случае, если ее члены не все применяют их одним и тем же способом. (Если бы это было не так, то не могло бы быть никаких специальных философских проблем, составляющих предмет аксиологии или эстетики.) Не все люди рисовали одинаково в течение того периода времени, когда точность изображения была главной ценностью, но

[33] См. особенно: D. Shapere. Meaning and Scientific Change. in: «Mind and Cosmos: Essays in Contemporary Science and Philosophy». The University of Pittsburgh Series in the Philosophy of Science, III. Pittsburgh, 1966, p. 41–85; I. Scheffler. Science and Subjectivity. N. Y., 1967, а также статьи К. Поппера и Лакатоша в книге «Growth of Knowledge».

модель развития изобразительных искусств резко изменилась с тех пор, как художники отказались от подобной ценности[34]. Вообразите только, что произошло бы в науках, если бы согласованность перестала бы считаться первичной ценностью. Во-вторых, индивидуальная модификация в применении общепринятых ценностей может играть весьма существенную роль в науке. Вопросы, в которых применяются ценности, постоянно являются вопросами, для решения которых требуется пойти на риск. Большинство аномалий разрешается нормальными средствами; также и большинство заявок на новые теории оказываются беспочвенными. Если бы все члены сообщества рассматривали каждую аномалию как источник кризиса или принимали с полной готовностью каждую новую теорию, выдвинутую коллегами, наука перестала бы существовать. С другой стороны, если бы никто не откликался на возникновение аномалий или на новоиспеченные теории в высшей степени рискованными ходами, то в науке было бы значительно меньше революций или их не было бы вообще. В подобных ситуациях обращение к общепринятым ценностям скорее, чем к общепринятым правилам, регулирующим индивидуальный выбор, может быть тем приемом, с помощью которого сообщество распределяет риск между исследователями и гарантирует таким образом на долгое время успех своему научному предприятию.

Обратимся теперь к четвертому виду элементов дисциплинарной матрицы, который будет последним, рассмотренным здесь, хотя, вообще говоря, существуют и другие виды. Для этого вида элементов термин «парадигма» был бы полностью уместным как лингвистически, так и автобиографически. Именно этот компонент общепринятых

[34] См. обсуждение в начале XIII раздела.

групповых предписаний в первую очередь привел меня к выбору данного слова. Тем не менее, поскольку этот термин получил свою собственную жизнь, я буду заменять здесь его словом «образцы». Под этим видом элементов я подразумеваю прежде всего конкретное решение проблемы, с которым сталкиваются студенты с самого начала своей научной подготовки в лабораториях, на экзаменах или в конце глав используемых ими учебных пособий. Эти признанные примеры должны быть, однако, дополнены по крайней мере некоторыми техническими решениями проблем, взятыми из периодической литературы, с которыми сталкиваются ученые в процессе их послеуниверситетской самостоятельной исследовательской работы и которые служат для них также примером того, как «делается» наука. Различия между системами «образцов» в большей степени, чем другие виды элементов, составляющих дисциплинарную матрицу, определяют тонкую структуру научного знания. Все физики, например, начинают с изучения одних и тех же образцов: задачи – наклонная плоскость, конический маятник, кеплеровские орбиты; инструменты – верньер, калориметр, мостик Уитстона. Однако по мере того, как продолжается их обучение, символические обобщения, на которые они опираются, иллюстрируются все более различающимися образцами. Хотя специалистам в области физики твердого тела и специалистам по теории полей известно уравнение Шрёдингера, но общими для обеих групп являются лишь его более элементарные приложения.

3. Парадигмы как общепризнанные образцы

Парадигма как общепризнанный образец составляет центральный элемент того, что я теперь считаю самым новым и в наименьшей степени понятым аспектом данной книги.

Поэтому именно образцы требуют здесь большего внимания, чем другие компоненты дисциплинарной матрицы. Философы науки обычно не обсуждали проблемы, с которыми сталкивается студент в лабораториях или при усвоении учебного материала, все это считалось лишь практической работой в процессе применения того, что студент уже знает. Он не может, говорили философы науки, решить никакой проблемы вообще, не изучив перед этим теорию и некоторые правила ее приложения. Научное знание воплощается в теории и правилах; проблемы ставятся таким образом, чтобы обеспечить легкость в применении этих правил. Я попытался доказать тем не менее, что такое ограничение познавательного содержания науки ошибочно. После того как студент уже решил множество задач, в дальнейшем он может лишь усовершенствоваться в своем навыке. Но с самого начала и еще некоторое время спустя решение задач представляет собой способ изучения закономерности явлений природы. В отсутствие таких образцов законы и теории, которые он предварительно выучил, имели бы бедное эмпирическое содержание.

Чтобы показать, что я имею в виду, я позволю себе кратко вернуться к символическим обобщениям. Одним из широко признанных примеров является второй закон Ньютона, обычно выражаемый формулой F = ma. Социолог или, скажем, лингвист, которые обнаружат, что соответствующее выражение сформулировано в аподиктической форме и принято всеми членами данного научного сообщества, не поймут без многих дополнительных исследований большую часть того, что означают выражения или термины в этой формуле, и то, как ученые сообщества соотносят это выражение с природой. В самом деле, тот факт, что они принимают его без возражений и используют его как

средство, посредством которого вводятся логические и математические операции, еще отнюдь не означает сам по себе, что они соглашаются по таким вопросам, как значение и применение этих понятий. Конечно, они согласны по большей части этих вопросов; если бы это было не так, это сразу бы сказалось на процессе научного общения. Но спрашивается, с какими целями и применением каких средств они достигли этого согласия. Каким образом научились они, столкнувшись с данной экспериментальной ситуацией, подбирать соответствующие силы, массы и ускорения?

Хотя на этот аспект ситуации редко обращают внимание или вообще не обращают, практически студенты должны изучить даже нечто еще более сложное. Дело вовсе не в том, что логические и математические операции применимы прямо и непосредственно к выражению F = ma. Это выражение при ближайшем рассмотрении оказывается как бы законом-схемой. По мере того как студент или ученый-исследователь переходят от одной проблемной ситуации к другой, символическое обобщение, к которому применяются такие операции, меняет свою прежнюю форму. Для случая свободного падения F = ma приобретает вид: $mg = m\frac{d^2S}{dt^2}$. Для простого маятника оно преобразовывается в формулу $mg\sin\alpha = -ml\frac{d^2S}{dt^2}$. Для пары взаимодействующих гармонических осцилляторов записываются два уравнения: первое из них имеет вид

$$m_1\frac{d^2S_1}{dt^2} + k_1S_1 = k_2(S_2 - S_1 + d).$$

А для более сложных ситуаций, таких, как гироскоп, оно принимает и другие формы, производный характер которых по отношению к равенству F = ma раскрыть бывает еще труднее. Однако, научившись идентифицировать силы,

массы и ускорения в разнообразных физических ситуациях, не встречавшихся прежде, студент учится также строить определенный вариант формулы F = ma, посредством которой различные ситуации соотносятся между собой; часто вариант, с которым он сталкивается, не имел ранее никакого точного эквивалента. Каким же образом в таком случае студент учится такому применению?

Ключ для решения этого вопроса дает явление, хорошо известное как студентам, так и историкам науки. От первых регулярно можно услышать, что они прочитали насквозь главу учебника, поняли досконально все, что в ней содержится, но тем не менее затрудняются в решении ряда задач, предлагаемых в конце главы. Обычно эти трудности разрешаются одним и тем же способом, как это происходило в истории науки. Студент находит с помощью или без помощи своего инструктора способ уподоблять задачу тем, с которыми он уже встречался. Усмотрев такое сходство, уловив аналогию между двумя и более различающимися задачами, студент начинает интерпретировать символы и сам приводить их в соответствие с природой теми способами, которые еще раньше доказали свою эффективность. Скажем, формула закона F = ma функционировала как своего рода инструмент, информируя студента о том, какие существуют аналогии для нее, обозначая своего рода гештальт, через призму которого следует рассматривать данную ситуацию. Формирующаяся таким образом способность видеть во всем многообразии ситуаций нечто сходное между ними (как отправные точки для F = ma или какого-либо другого символического обобщения) представляет собой, я думаю, главное, что приобретает студент, решая задачи-образцы с карандашом и бумагой или в хорошо оборудованной лаборатории. После того как он выполнил определенное число таких задач или упражнений (это число

может сильно меняться в зависимости от его индивидуальных особенностей), он смотрит на ситуации уже как ученый, теми же самыми глазами, что и другие члены группы по данной специальности. Для него эти ситуации не будут уже больше такими же, как те, с которыми он имел дело, приступая к выполнению учебных заданий. Теперь он владеет способом видения, проверенным временем и разрешенным научной группой.

Роль приобретенных отношений подобия ясно видна также из истории науки. Ученые решают головоломки, моделируя их на прежних решениях головоломок, причем часто с самым минимальным запасом символических обобщений. Галилей обнаружил, что шар, скатывающийся вниз по наклонной плоскости, приобретает ровно такую скорость, которая дает возможность ему подняться на ту же высоту по другой наклонной плоскости с произвольным углом наклона. После этого он научился находить в этой экспериментальной ситуации сходство с колебаниями маятника как груза, имеющего точечную массу. Впоследствии Гюйгенс решил задачу нахождения центра колебания физического маятника, представляя, что протяженное тело последнего составлено из точечных маятников Галилея, связи между которыми могут мгновенно освобождаться в любой точке колебания. После того как связи разорваны, каждый точечный маятник в отдельности совершает свободные колебания, но их общий центр тяжести, когда каждый из них достигал своей наивысшей точки, поднимался, подобно центру тяжести маятника Галилея, только на такую высоту, с которой центр тяжести протяженного маятника начал падать. Наконец, Даниэль Бернулли обнаружил, каким образом уподобить струю воды из отверстия маятнику Гюйгенса. Для этого нужно определить понижение центра тяжести воды в сосуде и траекторию струи в течение

бесконечно малого промежутка времени. Представьте далее, что каждая частица воды, одна вслед за другой, движется отдельно вверх до максимальной высоты, которой она достигает со скоростью, приобретаемой ею в течение данного промежутка времени. Повышение центра тяжести индивидуальных частиц должно быть в таком случае равно понижению центра тяжести воды в сосуде и в струе. Представив проблему в подобном виде, Бернулли сразу получил искомую скорость истечения жидкости из отверстия[35].

Этот пример поможет пояснить, что я подразумеваю, когда пишу о способности использовать решение задачи в качестве образца для отыскания аналогичных задач как объектов для применения одних и тех же научных законов и формул (law-sketch). В то же время из этого же примера видно, почему я рассматриваю логическое знание о природе как приобретенное в процессе установления сходства между различными ситуациями и в силу этого воплощенное скорее в способе видения физических ситуаций, чем в правилах или законах. Три задачи, приведенные в качестве примера, причем каждая из них представляет собой классический образец механики XVIII века, раскрывают только один закон природы. Этот закон, известный также как принцип vis viva, обычно формулировался следующим образом: «Фактическое снижение равно потенциальному повышению». Применение Бернулли закона должно было показать, насколько логичным был этот принцип. Однако его словесное изложение само по

[35] Например, см.: R. Dugas. A History of Mechanics. Neuchatel, 1955, p. 135–136, 186–193; D. Bernoulli. Hydrodynamica; sive de viribus et motibus fluidoruni, commentarii opus academicurn, Strasbourg, 1738. Sec. III. О степени, которой достиг прогресс механики в течение первой половины XVIII века путем моделирования одного решения проблемы с помощью другого, см.: C. Truesdell. Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error. and Failure in Newton's «Principia», –«Texac Quarterly», X, 1967, p. 238–258.

себе, в сущности, ничего не дает. Представьте себе современного студента-физика, который знает необходимые формулировки и может решить все эти задачи, но использует для этого иные средства. Затем представьте себе, что все эти формулировки, хотя все они были бы ему хорошо известны, могут сказать человеку, который даже не знаком с физическими задачами. Для него обобщения вступают в силу только тогда, когда он научился узнавать «фактические падения» и «потенциальные подъемы». Но когда он об этом узнает, он получит определенные сведения об ингредиентах природных процессов, о ситуациях, имеющих место или отсутствующих в природе, раньше, чем о законе. Этот вид знания не достигается исключительно вербальными средствами. Скорее, он облекается в слова вместе с конкретными примерами того, как они функционируют на деле; природа и слова постигаются вместе. Заимствуя еще раз удачную фразу М. Полями, я хочу подчеркнуть, что результатом этого процесса является «неявное знание», которое приобретается скорее практическим участием в научном исследовании, чем усвоением Правил, регулирующих научную деятельность. <...>

С легкой руки Куна слово парадигма получило то довольно широкое значение (совокупность фундаментальных научных установок, представлений и терминов, принимаемая и разделяемая научным сообществом и объединяющая большинство его членов), в котором сейчас его применяют по отношению практически к чему угодно, просто как «набор важных установок». Вместе с тем, если вернуться к начальному значению этого слова – а оно связано как раз таки с Платоном – оно в наибольшей степени близко к понятиям «сущность» и «модель», «образец». Сущность является моделью всех явлений, относящихся к этой сущности. И сущность как совокупность всех своих явлений – и есть парадигма. Парадигма позволяет разделить постоянные и переменные характеристики сущности – характеристики того, парадигму *чего* мы в данный момент рассматриваем.

Именно в таком смысле мы ранее представляли как парадигму эталон конфигурации виртуальной инфраструктуры и образ (image) по Гренандеру.

Под это понятие подпадает и парадигма как строгий лингвистический термин (совокупность словоформ одного слова, совокупность звуков одной фонемы), и парадигма взглядов, и научная парадигма. Это совокупность всех возможных «допустимых отклонений», при которых явление все еще остается явлением той же сущности.

Так, в научной парадигме «материалистического подхода» к защите информации возможны различные отклонения во взглядах на то, *что конкретно* в системе защиты может быть реализовано программно, а что аппаратно, однако никакими логическими ходами не может быть получен вывод о том, что *вся* система защиты может быть реализована программно. Получив такой вывод, мы автоматически *выпадаем из парадигмы*. Это само по себе не криминально, но это звоночек о том, что стоит проверить, действительно ли парадигма перестала вас устраивать и вы ее осознанно отвергаете, или вы где-то неудачно выразились, пренебрегли каким-то параметром или неверно определили границы системы защиты, например (и поэтому аппаратная ее часть оказалась просто за границами вашего рассмотрения, а не отсутствует вовсе).

Перейдем к оставшемуся ряду понятий – метод, методология, методика.

Для стартового погружения в проблематику, связанную с этими понятиями, целесообразно попробовать почерпнуть их значения и взаимосвязи из различных источников в Интернете. В первую очередь это даст нам самое главное понимание – этими словами в разных контекстах называются совершенно разные вещи. Так, чтобы сузить круг рассматриваемых вариантов до относительно приемлемого, необходимо как минимум ввести в поисковый запрос уточнение «научные», отсекая тем самым педагогические, художественные и аналогичные. Хотя в результате придется отсечь массу прекрасного, например, такие шедевры, как «методологические методы» и «собственно методические методы» (и то, и другое – в педагогике).

В случае, если нет возможности задать учащимся сделать самостоятельную подборку и на ее основе построить анализ употребления этих слов в научном дискурсе, можно ограничиться анализом учебной литературы по этому вопросу.

Задание: выбрать из предложенной подборки [1–9] материал, касающийся изучаемых понятий, составить аналитический обзор значений и отношений значений этих слов между собой. Сформулировать собственные предположения о причинах такого положения и предложения целесообразного использования этого материала.

В результате анализа нужно получить вывод о том же дискурсивном характере этих терминов, выделить общую основу и договориться об их применении следующим образом:

Методология – это общие подходы к решению широкого класса задач. Например, описание Новой Гарвардской архитектуры компьютеров – это описание методологии коррекции базовой уязвимости машины Тьюринга.

Метод – это достаточно обобщенный механизм решения точно описанного класса задач. Пример метода – «доказательство от противного». Уровень применимости

метода – не менее отрасли знаний. Не менее – потому что существуют и общенаучные методы (каким, собственно, является и доказательство от противного). Разработка нового метода – докторская диссертация. Метод включает в себя способы, описываемые методиками.

Методика – это описание способа решения задачи (то есть последовательности действий, приводящих к успешному результату) в виде пошагового алгоритма, легко воспроизводимого любым или почти любым субъектом. Для разных задач доказательство от противного будет осуществляться разными способами. Рассказ учительницы классу о том, как применить доказательство от противного к данной теореме, – методика.

Подход – это описание гипотезы о том, как решить ту или иную задачу без оценки оптимальности решения.

Для дипломной работы целью можно выбирать разработку максимум способа или подхода, вполне адекватно – механизма, решения, методики.

Отдельно необходимо остановиться на том, что во введении НИР или диплома должны быть названы примененные методы исследования. Например, метод правдоподобного рассуждения по Пойя, системный анализ, структурный анализ, аксиоматический метод, математическое моделирование, формализация, идеализация, индукция, дедукция, измерение, эксперимент, наблюдение, гипотетически-дедуктивный и т. п. В отношении этих методов, к счастью, нет никаких разночтений ни в разных областях знаний, ни в разных научных школах, поэтому этот материал целесообразно оставить для самостоятельного изучения. Они точно и понятно описаны в словарных и энциклопедических статьях, а чтобы получить представление по достаточному разнообразию словарей, имеет смысл воспользоваться, например, сайтом http://dic.academic.ru.

Единственный из перечисленных методов, который нельзя уяснить из словарной статьи, – метод правдоподобного рассуждения. Вкупе с настоятельной рекомендацией прочитать

целиком книгу Д. Пойя «Математика и правдоподобные рассуждения» [Пойя, 1975] приведем отрывок из этого произведения, дающий некоторое представление о методе.

В конце раздела приведен параграф 2.6 книги Ф. Кузина «Диссертация…» [Кузин], посвященный методам научного познания, наиболее подходящим, на взгляд автора, для квалификационной работы. Однако именно такой набор – не требование, а предлагаемый вариант.

Пойя Д. Математика и правдоподобные рассуждения. С. 371–388.

XVI. ПРАВДОПОДОБНЫЕ РАССУЖДЕНИЯ В ИЗОБРЕТЕНИИ И ОБУЧЕНИИ

1. Предмет настоящей главы. Примеры в первой части этого труда и рассмотрения предыдущих глав второй части, я надеюсь, проливают некоторый свет на роль правдоподобных рассуждений в открытии математических фактов. Но математик не только догадывается; он должен также решать задачи и должен доказывать факты, о которых он догадался. Какова роль правдоподобных рассуждений в открытии решения или в изобретении доказательства? Вот вопрос, который будет рассмотрен в настоящей главе. И вот, между прочим, вопрос, привлекший внимание автора, который, первоначально интересуясь методами решения задач, в конечном счете пришел к теме настоящей книги.

Правдоподобные рассуждения являются темой тонкой и неуловимой, и такой же темой являются методы решения. Было, пожалуй, правильно отложить вопрос, объединяющий две такие деликатные темы, до последней главы. Последующее рассмотрение будет кратким; главная цель – указать связь с ранее обсуждавшимися вопросами. Более пространное изложение подошло бы для другой книги о методах решения задач.

2. Рассказ о маленьком открытии. Решение любой простой, но не совсем стандартной математической задачи может потребовать некоторого напряжения и доставить вам триумф открытия. Рассмотрим следующий пример: ***Построить четырехугольник, если даны его четыре***

стороны a, b, c и d и угол ε, образованный противоположными сторонами a и c.

Данные задачи показаны на рис. 16.1: четыре отрезка и один угол, обломки фигуры, разорванной на части, которые мы должны воссоединить, чтобы удовлетворить всем требованиям, предписанным в задаче.

Подразумевается, что стороны *a*, *b*, *c* и *d* следуют одна за другой вокруг искомого четырехугольника в этом порядке, так что *a* противоположна *c*, а *b* противоположна *d*. Угол *ε*, образованный противоположными сторонами *a* и *c*, *не* является ни одним из четырех углов четырехугольника.

Зададим несколько обычных вопросов, которые могут приблизить к нам задачу.

Достаточно ли данных для определения неизвестного? Одних четырех сторон было бы, очевидно, недостаточно для определения четырехугольника: четыре палки, соединенные гибкими шарнирами в их соответствующих концах, образуют четырехугольник, который способен двигаться, деформироваться, не является жестким, не имеет определенной формы. Однако, если один из его четырех углов фиксирован, шарнирный четырехугольник не может больше двигаться:

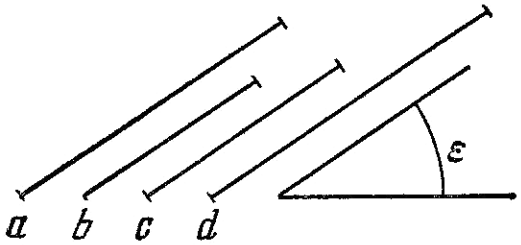


Рис. 16.1. Обломки

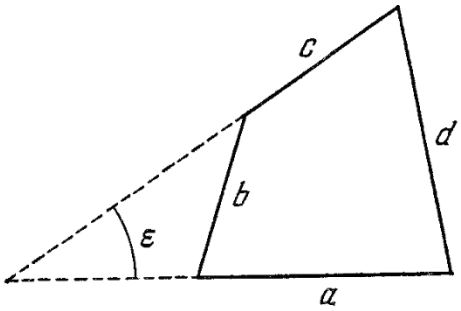


Рис. 16.2. Холодно

четырехугольник определяется четырьмя своими сторонами и одним из своих углов. Мы можем догадаться, что он

определяется также четырьмя сторонами и каким-нибудь другим углом, и, таким образом, данные нашей задачи кажутся достаточными.

Сделайте рисунок. Мы чертим рис. 16.2, на котором изображены все пять данных, соединенных так, как они должны были бы быть соединены в соответствии с условиями предложенной задачи. По-видимому, мы должны *воспользоваться всеми данными*.

Может случиться, что в этом месте мы застрянем, и в течение известного времени нам в голову не придет никакой полезной идеи. Действительно, рис. 16.2 выглядит неуклюжим. Стороны a, b, c, d находятся, конечно, на своих правильных местах, но положение угла ε кажется неудачным. Этот угол – одно из наших данных, мы должны им воспользоваться. Но как мы можем им воспользоваться, если он расположен так далеко, в таком необычном месте?

Человек, имеющий опыт в решении задач, попытался бы *переделать* рисунок, он попытался бы поместить этот угол ε где-нибудь в другом месте. Он может, таким образом, напасть на мысль начертить рис. 16.3, где угол ε образован стороной a и параллелью к стороне c, проведенной через конец стороны a. Рис. 16.3 выглядит более многообещающим, чем никчемный рис. 16.2.

Но почему же рис. 16.3 кажется многообещающим? Даже хорошие студенты, довольно уверенно это чувствующие, могут не суметь ясно ответить на такой вопрос.

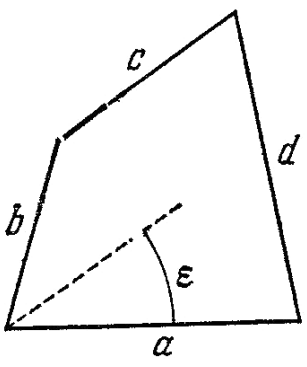


Рис. 16.3. Теплее

«Он мне кажется хорошим».

«Данные расположены более компактно».

Только студент, исключительно одаренный или опытный, будет в

состоянии дать полное объяснение: «На рис. 16.2 угол ε входит в треугольник, однако этот треугольник не годится для построения: у него известны только угол ε и сторона b. А вот если угол ε расположен как на рис. 16.3, то он имеет больше шансов войти в подходящий треугольник. Это желательно, так как обычно построение такого рода сводится к построению треугольника по подходящим данным».

Последний ответ указывает, по-видимому, на общую идею: многообещающей кажется любая черта, в отношении которой можно обнаружить, что нынешняя ситуация находится в согласии с удачными ранее встречавшимися ситуациями.

Как бы то ни было, рис. 16.3 оправдывает наши ожидания. В самом деле, угол ε действительно входит в треугольник, который мы легко можем построить (по сторонам a и c и углу ε между ними, см. рис. 16.4). Когда построен этот треугольник, решение совсем близко. В самом деле, к только что построенному треугольнику примыкает другой треугольник, который мы можем построить (по сторонам b, d и ранее построенной стороне, см. рис. 16.5). Начертив оба треугольника, мы завершаем требуемое построение, строя параллелограмм со сторонами b и c.

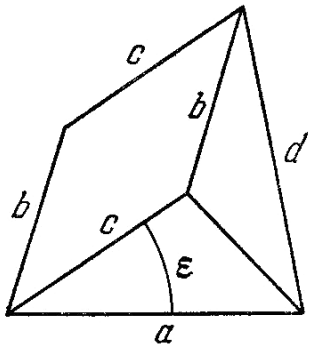


Рис. 16.4. Жарко!

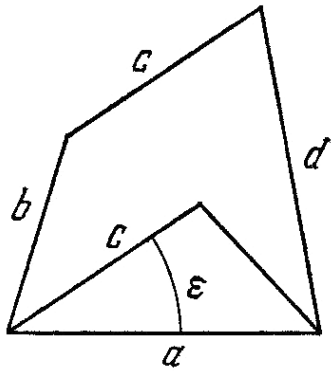


Рис. 16.5. Сделано!

Для большинства людей, решающих задачи, главным шагом в предыдущем решении, изображенном

последовательностью из пяти рисунков, является переход от рис. 16.2 к рис. 16.3; этому шагу может предшествовать длительный период колебаний. Но как только угол ε расположен удачно, развитие решения от рис. 16.3 через рис. 16.4 к заключительному рис. 16.5 может быть очень быстрым.

Предыдущее решение может выявить один или два момента, играющих известную роль и в более важных открытиях.

3. ПРОЦЕСС РЕШЕНИЯ. Решение задачи – крайне сложный процесс. Никакое описание или теория этого процесса не может исчерпать многообразия его сторон, любое его описание или теория обязательно являются неполными, схематичными, чрезвычайно упрощенными. Я хочу указать место правдоподобных рассуждений в этом сложном процессе и выберу наиболее простое описание, какое я в состоянии найти, в котором это место может быть опознано. И здесь будет достаточно даже начала такого простого описания.

(1) *Постановка задачи для себя*. Задача становится задачей для вас, когда вы ставите себе целью ее решить. Задача еще не является вашей задачей только потому, что вам на экзамене предложено ее решить. Если вы хотите, чтобы кто-нибудь пришел и подсказал вам ответ, то я подозреваю, что вы еще не поставили себе эту задачу всерьез. Но если вам очень хочется найти ответ самому, своими собственными силами, то вы сделали задачу действительно вашей, вы относитесь к ней серьезно.

Постановка задачи для себя есть начало решения, существенный первый ход в игре, означающий решимость взяться за задачу.

(2) *Избирательное внимание.* Вам не нужно мне говорить, что вы поставили себе эту задачу, вам не нужно

говорить это себе самому; что вы это сделали, покажет все ваше поведение. Ваш ум становится избирательным; он становится более доступным для всего того, что выглядит связанным с задачей, и менее доступным для всего, что кажется несвязанным. Вы энергично ухватываетесь за любое воспоминание, замечание, намек или факт, который мог бы помочь вам решить вашу задачу, и закрываете дверь для всего другого. Когда дверь закрыта так плотно, что вас не достигают даже наиболее настоятельные призывы внешнего мира, люди говорят, что вы поглощены задачей.

(3) *Регистрирование темпа продвижения.* Есть и другое обстоятельство, показывающее, что вы серьезно заняты своей задачей; вы становитесь чувствительны. Вы остро чувствуете темп вашего продвижения; у вас поднимается настроение, когда он быстр, вы приходите в уныние, когда он медленен. Обо всем, что бы ни пришло вам на ум, вы быстро составляете мнение: «Эго выглядит неплохо», «Это могло бы помочь» или «Плохо», «Не поможет». Такие суждения, конечно, не безошибочны. (Хотя, по-видимому, они чаще правильны, чем нет, особенно у одаренных или опытных людей.) Как бы то ни было, такие суждения и чувства для вас лично важны; они направляют ваши усилия.

(4) *Где появляются правдоподобные рассуждения.* Несколько более конкретно рассмотрим типичную ситуацию.

Вы пытаетесь добиться решения в известном направлении, на определенном пути. (Например, пытаясь решить геометрическую задачу из § 2, вы отказываетесь от рис. 16.2 и пробуете работать с более обнадеживающим рис. 16.3.) Вы можете очень остро чувствовать, что движетесь в правильном направлении, что вы на многообещающем пути, что вы идете по следу. Между прочим, вы можете это чувствовать, не формулируя свое чувство словами. Или, даже если вы говорите что-нибудь вроде «Это выглядит неплохо»,

вы не делаете усилий, чтобы проанализировать свою уверенность, вы не спрашиваете «Почему это выглядит неплохо?» Вы просто слишком заняты, идя по следу.

Однако вам может не повезти. Вы наталкиваетесь на трудности, у вас нет больше продвижения, ничего нового не приходит в голову, и тогда вы начинаете сомневаться: «Было ли это хорошим началом? Правильное ли это направление?» А затем вы можете начать анализировать свое чувство: «Направление казалось вполне правдоподобным – но почему оно правдоподобно?» Затем вы можете приняться обдумывать ситуацию, и вам в голову могут прийти какие-нибудь более ясные соображения:

«Эта ситуация не так уж плоха. Я могу ввести треугольник. В подобных задачах всегда вводят треугольники».

«В конце концов, это было, вероятно, правильное начало. Похоже на то, что это правильное решение. Что мне нужно для решения задачи этого типа? Вот это, – и это у меня есть. А это, – и это есть. А...».

Было бы интересно более отчетливо понять, как люди рассуждают в такой ситуации, в действительности наша главная цель и состоит именно в том, чтобы это понять. Однако, чтобы расширить базу наших наблюдений, нам нужен по крайней мере еще один пример.

4. DEUS EX MACHINA[36] [37]. Следующий пример немножко менее прост, чем пример из § 2. Он будет дан в § 6 после некоторых приготовлений в этом параграфе и в следующем. Параграф 6 доставит нам доказательство, изложенное таким

[36] Параграфы 4, 5 и 6 с незначительными изменениями воспроизводят части моей статьи «With, or without motivation?» *Amer. Math. Monthly,* 56 (1949), 684–691.

[37] Дословно: бог из машины (лат.). Это выражение, употребляемое в ироническом смысле, означает неожиданно в самый нужный момент пришедшую помощь, вмешательство свыше. В античном театре боги появлялись на сцене с помощью специальной машины. – *Прим. перев.*

способом, который находится в контрасте с обычным способом изложения. Чтобы подчеркнуть этот контраст, сначала рассмотрим это доказательство, как оно было бы изложено в (рассчитанном на более подготовленных читателей) учебнике или в математическом журнале.

Математическая книга или лекция прежде всего должна быть правильной и недвусмысленной. Тем не менее мы знаем по тяжелому опыту, что совершенно недвусмысленное и правильное изложение может быть далеким от удовлетворительного и может казаться невдохновляющим, утомительным или разочаровывающим, даже если излагаемый вопрос сам по себе интересен. Наиболее бросающийся в глаза недостаток в остальном приемлемого изложения есть «deus ex machina». Перед дальнейшими замечаниями я хочу привести конкретный пример. Взглянем на доказательство следующей, не совсем элементарной теоремы[38].

Если члены последовательности $\boldsymbol{a_1, a_2, a_3, \ldots}$ – *неотрицательные действительные числа, не все равные 0, то*

$$\sum_1^\infty (a_1 a_2 a_3 \ldots a_n)^{1/n} < e \sum_1^\infty a_n.$$

Доказательство. Определим числа $\boldsymbol{c_1, c_2, c_3, \ldots}$ равенствами

$$\mathbf{c_1 c_2 c_3 \ldots c_n = (n+1)^n}$$

для n = 1, 2, 3, ... Мы пользуемся этим определением, затем неравенством между арифметическим и геометрическим средними (§ 8.6) и, наконец, тем фактом, что последовательность с общим членом $[(\boldsymbol{k+1})/\boldsymbol{k}]^{\boldsymbol{k}}$, определяющая e, является возрастающей. Получаем

$$\sum_1^\infty (\mathbf{a_1 a_2 \ldots a_n})^{1/n} = \sum_1^\infty \frac{(\mathbf{a_1 c_1 \cdot a_2 c_2 \ldots a_n c_n})^{1/n}}{\mathbf{n+1}} \leq$$

[38] Меня можно извинить за то, что я выбрал пример из моей собственной работы. См. Polya G. Proof of an inequality, *Proc. Load. Math. Soc.* (2), 24 (1925), 57. Доказанная теорема принадлежит Т. Карлеману.

$$\leq \sum_{1}^{\infty} \frac{a_1c_1 + a_2c_2 + \ldots + a_nc_n}{n\,(n+1)} =$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} a_k c_k \sum_{n=k}^{\infty} \frac{1}{n\,(n+1)} = \qquad \text{(d)}$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} a_k c_k \sum_{n=k}^{\infty} \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n\,(n+1)}\right) =$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} a_k \frac{(k+1)^k}{k^{k-1}} \frac{1}{k} <$$

$$< e \sum_{k=1}^{\infty} a_k.$$

5. ЭВРИСТИЧЕСКОЕ ОПРАВДАНИЕ. Критический пункт вывода (d) – определение последовательности $c_1, c_2, c_3, \ldots$ Этот пункт с самого начала, без какой-либо подготовки, кажется правильным, как типичный «deus ex machina». Каковы возражения против него?

«Он кажется кроликом, вытащенным из шляпы».

«Он внезапно появляется из ничего. Он выглядит таким произвольным. Он не имеет никакой видимой мотивировки или цели».

«Я терпеть не могу ходить в темноте. Я терпеть не могу делать шаг, когда не вижу, почему бы он должен был подвести меня ближе к цели».

«Возможно, автор знает цель этого шага, но я ее не знаю, и потому не могу следовать за ним с доверием».

«Послушайте, я здесь не для того, чтобы только восхищаться вами. Я хочу научиться, как самому решать задачи. Но я не могу понять, как человек мог напасть на ваше... определение. Так чему же я могу здесь научиться? Как смог бы я найти такое... определение сам?»

«Этот шаг не тривиален. Он кажется решающим. Если бы я мог видеть, что он имеет известные шансы на успех, или увидеть

для него какое-нибудь предварительное правдоподобное оправдание, то я смог бы представить себе и как он был придуман и, во всяком случае, мог бы следовать за дальнейшим рассуждением с большим доверием и с большим пониманием».

Первые ответы не очень ясны, следующие лучше, а последний – самый лучший. Обнаруживается, что разумный читатель или слушатель желает две вещи:

Во-первых, понять, что настоящий шаг рассуждения является правильным.

Во-вторых, понять, что настоящий шаг является подходящим.

Шаг математического рассуждения является подходящим, если он существенно связан с целью рассуждения или если он подводит нас ближе к цели. Недостаточно, однако, чтобы шаг был подходящим: нужно, чтобы он *казался* таким читателю. Если шаг простой, совсем тривиальный, обычный шаг, то читатель легко сумеет себе представить, как он мог бы быть связан с целью рассуждения. Если порядок изложения тщательно спланирован, то на мысль о связи этого шага с целью может наталкивать контекст. Если, однако, шаг явно важен, но его связь с целью вообще не видна, то он появляется, как «deus ex machina», и можно понять, что разумный читатель или слушатель разочарован.

В нашем примере определение $\boldsymbol{c_n}$ появляется, как «deus ex machina». Но этот шаг является несомненно подходящим. Действительно, рассуждение, основанное на этом определении, доказывает нашу теорему, и доказывает ее довольно быстро и ясно. Трудность состоит в том, что рассматриваемый шаг, хотя в конце и оправдывается, не кажется оправданным сначала.

Но как автор мог бы оправдать его с самого начала? Полное оправдание требует некоторого времени; оно дается

полным доказательством. Что нужно – это не полное, а *неполное* оправдание, *правдоподобный предварительный довод,* просто намек, что этот шаг имеет некоторые шансы на успех, короче, некоторое *эвристическое оправдание.*

6. РАССКАЗ О ДРУГОМ ОТКРЫТИИ. Почти нет необходимости напоминать читателю, что лучшие рассказы не представляют правды в чистом виде. Они должны, однако, содержать некоторые существенные элементы правды, в противном случае они не были бы даже хорошими. Нижеследующее является несколько «рационализированным» изложением шагов, которые привели меня к доказательству, изложенному в § 4; иными словами, в нем должным образом подчеркивается эвристическое оправдание последовательных шагов.

Теорема, доказанная в § 4, сама по себе удивительна. Мы удивлялись бы меньше, если бы знали, как она была открыта. Мы естественно приходим к ней, пытаясь доказать теорему: *Если ряд с положительными членами*

$$\boldsymbol{a_1 + a_2 + a_3 + \cdots + a_n + \cdots}$$

сходится, то и ряд

$$\boldsymbol{a_1 + (a_1a_2)^{1/2} + (a_1a_2a_3)^{1/3} + \cdots + (a_1a_2a_3 \ldots a_n)^{1/n} + \cdots}$$

также сходится. Я попытаюсь подчеркнуть некоторые соображения, которые могут нам помочь найти доказательство.

(1) *Подходящая известная теорема.* Естественно начать с обычных вопросов.

В чем состоит посылка? Мы допускаем, что ряд $\boldsymbol{\sum a_n}$ сходится, что его частные суммы остаются ограниченными, что

$\boldsymbol{a_1 + a_2 + \cdots + a_n}$ не велико.

В чем состоит заключение? Мы хотим доказать, что сходится ряд $\boldsymbol{\sum (a_1a_2 \ldots a_n)^{1/n}}$, что $\boldsymbol{(a_1a_2 \ldots a_n)^{1/n}}$ мало.

Знаете ли вы теорему, которая могла бы оказаться полезной?

Что нам нужно – это какая-нибудь связь между суммой n положительных величин и их средним геометрическим. *Встречали ли мы ранее что-нибудь в этом роде*? Если вы когда-нибудь слышали о неравенстве между средним арифметическим и средним геометрическим, то довольно велика вероятность, что вам придет на ум эта связь:

$$(\boldsymbol{a_1 a_2 \dots a_n})^{\mathbf{1/n}} \leq \frac{\boldsymbol{a_1+a_2+\cdots+a_n}}{\boldsymbol{n}}. \qquad \text{(a.-g.)}$$

Это неравенство показывает, что $(\boldsymbol{a_1 a_2 \dots a_n})^{\mathbf{1/n}}$ мало, когда $\boldsymbol{a_1 + a_2 + \cdots + a_n}$ не велико. Оно имеет так много точек соприкосновения с нашей задачей, что мы едва ли сможем устоять от искушения его применить:

$$\sum_{\boldsymbol{n=1}}^{\boldsymbol{\infty}} (\boldsymbol{a_1 a_2 \dots a_n})^{\boldsymbol{1/n}} \leq \sum_{\boldsymbol{n=1}}^{\boldsymbol{\infty}} \frac{\boldsymbol{a_1 + a_2 + \dots + a_n}}{\boldsymbol{n}} =$$

$$= \sum_{\boldsymbol{k=1}}^{\boldsymbol{\infty}} \boldsymbol{a_k} \sum_{\boldsymbol{n=k}}^{\boldsymbol{\infty}} \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{n}} \qquad \text{(a)}$$

– полная неудача! Ряд $\sum(\boldsymbol{1/n})$ расходится, последняя строка в (a) не имеет смысла.

(2) *Учиться на неудаче.* Трудно допустить, чтобы наш план был ошибочным. Хотелось бы верить, что по крайней мере некоторая его часть правильна. Вот полезные вопросы: *Что в нашем плане было ошибочно*? *Какую его часть мы могли бы спасти*?

Ряд $\boldsymbol{a_1 + a_2 + \cdots + a_n}$ ... сходится. Следовательно, когда n велико, $\boldsymbol{a_n}$ мало. Но когда не все $\boldsymbol{a_1}, \boldsymbol{a_2}, \dots, \boldsymbol{a_n}$ равны, две части неравенства (a.-g.) различны, и когда $\boldsymbol{a_1}, \boldsymbol{a_2}, \dots, \boldsymbol{a_n}$ очень неравны, они могут быть очень различны. В нашем случае намного больше, чем $\boldsymbol{a_n}$, и, таким образом, между двумя частями (a.-g.) может существовать значительный разрыв. Вот, вероятно, причина, по которой наше применение неравенства (a.-g.) оказалось недостаточным.

(3) *Видоизменение подхода.* Ошибка состояла в применении неравенства (a.-g.) к величинам

$$\boldsymbol{a_1}, \boldsymbol{a_2}, \mathbf{a_3}, \dots, \boldsymbol{a_n},$$

которые были слишком неравны. Так почему бы не применить его к каким-нибудь родственным величинам, которые имеют больше шансов быть равными? Мы могли бы испытать

$$\mathbf{1}a_1, \mathbf{2}a_2, \mathbf{3}a_3, \ldots, \mathbf{n}a_n.$$

Быть может, это идея! Мы можем ввести возрастающие компенсирующие множители, например 1, 2, 3, ..., *n*. Нам не следует, однако, связывать себя больше, чем это необходимо, стоило бы сохранить себе некоторую свободу действий. Нужно, пожалуй, рассмотреть с большей общностью величины

$$\mathbf{1}^{\lambda}a_1, \mathbf{2}^{\lambda}a_2, \mathbf{3}^{\lambda}a_3, \ldots, \mathbf{n}^{\lambda}a_n.$$

Можно было бы $\boldsymbol{\lambda}$ оставить на время *неопределенным* и выбрать наиболее выгодное значение позже. Этот план имеет столько хороших черт, что кажется созревшим для исполнения:

$$\begin{aligned}\sum_{1}^{\infty}(a_1a_2\ldots a_n)^{1/n} &= \sum_{1}^{\infty}\frac{\left(a_1\mathbf{1}^{\lambda}\cdot a_2\mathbf{2}^{\lambda}\cdot\ldots\cdot a_n\mathbf{n}^{\lambda}\right)^{1/n}}{(\mathbf{1}\cdot\mathbf{2}\cdot\ldots\cdot\mathbf{n})^{\lambda/n}} \leq \\ &\leq \sum_{n=1}^{\infty}\frac{a_1\mathbf{1}^{\lambda}+a_2\mathbf{2}^{\lambda}+\ldots\cdot a_n\mathbf{n}^{\lambda}}{\mathbf{n}(\mathbf{n}!)^{\lambda/n}} = \\ &= \sum_{k=1}^{\infty}a_k\,k^{\lambda}\sum_{n=k}^{\infty}\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{n}(\mathbf{n}!)^{\lambda/n}}.\end{aligned} \qquad \text{(b)}$$

Мы натолкнулись на трудное место. Оценить последнюю сумму мы не можем. Даже если мы вспомним различные приемы, имеющие отношение к данному случаю, то все же будем вынуждены работать с «сырыми равенствами» (обозначение ≈ вместо =):

$$(\mathbf{n}!)^{\lambda/n} \approx n\boldsymbol{e}^{-1},$$

$$\begin{aligned}\sum_{n=k}^{\infty}\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{n}(\mathbf{n}!)^{\lambda/n}} &\approx e^{\lambda}\sum_{n=k}^{\infty}n^{-1-\lambda} \approx \\ &\approx e^{\lambda}\int_{k}^{\infty}x^{-1-\lambda}\,dx = \\ &= e^{\lambda}\,\lambda^{-1}\,k^{-\lambda}.\end{aligned}$$

Вводя это в последнюю строку (b), мы очень близко

подходим к доказательству того, что

$$\sum_{1}^{\infty}(a_1 a_2 \dots a_n)^{1/n} \leq C \sum_{1}^{\infty} a_k \quad , \qquad \text{(b')}$$

где $\boldsymbol{C}$ – некоторая постоянная, возможно $\boldsymbol{e^{\lambda}\lambda^{-1}}$. Такое неравенство, конечно, доказало бы теорему, которую мы имеем в виду.

(4) *Вновь просматривая* предыдущее рассуждение, мы вынуждены повторить вопрос: «Какое значение $\boldsymbol{\lambda}$ наиболее выгодно?» Вероятно, то $\boldsymbol{\lambda}$, которое делает $\boldsymbol{e^{\lambda}\lambda^{-1}}$ наименьшим. Мы можем найти эго значение с помощью дифференциального исчисления:

$$\boldsymbol{\lambda = 1}.$$

Это определенно наводит на мысль, что наиболее очевидный выбор и наиболее выгоден: в качестве компенсирующего множителя при $\boldsymbol{a_n}$ нужно взять $\boldsymbol{n^1 = n}$ или какое-нибудь число, не очень отличающееся от *n*, когда *n* велико. Это может привести в ($\boldsymbol{b'}$) к простому значению $\boldsymbol{C = e}$.

(5) *Больше гибкости.* В нашем предыдущем рассуждении (b) мы оставили $\boldsymbol{\lambda}$ неопределенным. Это придало нашему плану известную *гибкость*: значение $\boldsymbol{\lambda}$ оставалось в нашем распоряжении. Почему бы не придать нашему плану еще большую гибкость? Мы могли бы оставить компенсирующий множитель при $\boldsymbol{a_n}$ совсем неопределенным; обозначим его буквой $\boldsymbol{c_n}$ и распорядимся его значением позднее, когда яснее увидим, что нам нужно. Перейдем к этой дальнейшей модификации нашего первоначального подхода:

$$\sum_{1}^{\infty}(\boldsymbol{a_1 a_2 \dots a_n})^{1/n} = \sum_{1}^{\infty}\frac{(\boldsymbol{a_1 c_1 \cdot a_2 c_2 \dots a_n c_n})^{1/n}}{(\boldsymbol{c_1 c_2 \dots c_n})^{1/n}} \leq$$

$$\leq \sum_{n=1}^{\infty}\frac{\boldsymbol{a_1 c_1 + a_2 c_2 + \dots + a_n c_n}}{\boldsymbol{n(c_1 c_2 \dots c_n)^{1/n}}} = \qquad \text{(c)}$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} a_k c_k \sum_{n=k}^{\infty} \frac{1}{n(c_1 c_2 \dots c_n)^{1/n}} \quad .$$

Как нам следовало бы выбрать c_n? Это – решающий вопрос, и мы больше не можем откладывать ответ.

Во-первых, мы легко видим, что множитель пропорциональности должен оставаться произвольным. Действительно, последовательность $cc_1, cc_2, \dots, cc_n, \dots$ приводит к тем же результатам, что и $c_1, c_2, \dots, c_n, \dots$

Во-вторых, наша предшествующая работа наводит на мысль, что и c_n и $(c_1 c_2 \dots c_n)^{1/n}$ должны были бы быть асимптотически пропорциональны n:

$$c_n \sim K_n, \quad (c_1 c_2 \dots c_n)^{1/n} \sim e^{-1} K_n = K' n.$$

В-третьих, больше всего желательно, чтобы мы были в состоянии найти сумму ряда

$$\sum_{n=k}^{\infty} \frac{1}{n(c_1 c_2 \dots c_n)^{1/n}}$$

В этом месте нам понадобятся все наши знания о простых рядах. Если мы знакомы с рядом

$$\sum \frac{1}{n(n+1)} = \sum \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n+1}\right),$$

то велика вероятность, что в этой связи мы о нем вспомним. Этот ряд обладает тем свойством, что его сумма имеет простое выражение не только от $n = 1$ до $n = \infty$, но и от $n = k$ до $n = \infty$ – очень большое преимущество! Этот ряд подсказывает выбор

$$(c_1 c_2 \dots c_n)^{1/n} = n + 1.$$

Теперь, очевидно, $n + 1 \sim n$ для большого n – хороший признак! А как обстоит дело с самими c_n?

Поскольку

$$c_1 c_2 \dots c_{n-1} c_n = (n+1)^n, \qquad c_1 c_2 \dots c_{n-1} = n^{n-1},$$
$$c_n = \frac{(n+1)^n}{n^{n-1}} = \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n \quad n \sim en;$$

асимптотическая пропорциональность n является хорошим признаком! И возникает число e – очень хороший признак!

Мы выбираем это c_n и после этого выбора снова возвращаемся к выводу (d) в § 4 с большим доверием, чем прежде.

Теперь мы можем понять, как человек мог открыть то определение c_n, которое появилось в § 4 как «deus ex machina». Вывод (d) также становится более понятным. Он выступает теперь в качестве последней и единственной успешной попытки в цепи последовательных испытаний (a), (b), (c) и (d). И объясняется само происхождение теоремы. Мы понимаем теперь, как было возможно открыть роль числа *e*, которая сначала казалась такой удивительной.

7. Несколько типичных указаний. Мы рассмотрели в предыдущих параграфах два примера. Сначала мы исследовали «задачу на нахождение» (в § 2), а затем «задачу на доказательство» (в § 6)[39]. Чтобы должным образом проиллюстрировать роль правдоподобных рассуждений в изобретении плана решения, нужно было бы значительно большее разнообразие примеров. Как бы то ни было, из наших примеров мы можем извлечь несколько типичных указаний, позволяющих оценивать план. Имея дело с другими указаниями такого рода, мы будем апеллировать ко всему тому опыту, который читатель приобрел в решении математических задач.

Перечисляя такие оценивающие указания, мы не будем пытаться добиться полноты. В некоторых случаях мы будем находить необходимым делать различие между задачами на нахождение и задачами на доказательство. В таких случаях мы будем давать две параллельные формулировки и первой давать формулировку, относящуюся к задачам на нахождение.

Рассмотрим ситуацию, в которой человек, решающий задачу, естественно сталкивается с правдоподобным рассужде-

[39] По поводу этой терминологии см. «Как решать задачу», стр. 83.

нием. Вы заняты интересной задачей. Вы задумали план решения, но почему-то он вам не очень нравится. У вас есть сомнения, вы не совсем уверены, что ваш план осуществим. Обдумывая это, вы фактически исследуете предположение:

A. Этот план решения можно осуществить.

Когда вы исследуете ваш план под различными углами зрения, вам может прийти на ум несколько за и против. Вот некоторые бросающиеся в глаза типичные указания, которые могут говорить в пользу предположения *A*.

B_1. Этот план принимает в расчет все данные.

Эта формулировка относится к задачам на нахождение. Имеется параллельная формулировка, относящаяся к задачам на доказательство: *этот план принимает в расчет все части посылки*. Например, рис. 16.3 соединяет все данные, и это хороший признак. И рис. 16.2 содержит все данные, но между этими двумя фигурами существует различие, которое могут сделать ясным следующие пункты.

B_2. Этот план обеспечивает связь между данными и неизвестным.

Имеется параллельная формулировка, относящаяся к задачам на доказательство: *этот план обеспечивает связь между посылкой и заключением*. Например, в § 6 (1) неравенство между средним арифметическим и средним геометрическим обещало создать связь между посылкой и заключением, и такое обещание побуждает нас работать с этим неравенством. Рис. 16.3, по-видимому, обеспечивает более тесную связь, и поэтому кажется более многообещающим, чем рис. 16.2.

B_3. Этот план имеет черты, часто оказывающиеся полезными при решении задач такого типа.

Например, план, начинающийся с рис. 16.3, на более позднем этапе (рис. 16.4) приводит к построению треугольника.

Это хороший признак, так как задачи на геометрические построения часто сводятся к построению треугольников.

B_4. Этот план похож на план, с помощью которого удалось решить аналогичную задачу.

B_5. С помощью этого плана удалось решить задачи в частном случае.

Например, у вас есть план для решения трудной задачи, относящейся к произвольной замкнутой кривой. Прямое проведение этого плана, по-видимому, требует большой работы, и поэтому вы колеблетесь. Однако вы замечаете, что в частном случае, когда замкнутая кривая есть окружность, ваш план осуществляется и дает правильный результат. Это хороший признак, и вы чувствуете себя ободренным.

B_6. С помощью этого плана удалось решить часть задачи (найти некоторые из неизвестных или доказать более слабое заключение).

Этот перечень ни в коем случае не является исчерпывающим. Существуют и другие типичные указания и признаки, но нам нет необходимости их здесь перечислять. Во всяком случае, было бы бесполезно перечислять их без должной иллюстрации[40].

8. Индукция в изобретении. Предположение A человека, решающего задачу (что его план решения можно осуществить), может быть подкреплено одним, двумя или большим числом указаний B_1, B_2, B_3, ... (того же типа, что и перечисленные в предыдущем § 7). Такие указания могут прийти ему на ум одно за другим, каждое указание увеличивает его уверенность в своем плане. Наши предыдущие обсуждения приводят нас к сравнению такого процесса решения задачи с индуктивным

[40] Ср. «Как решать задачу», стр. 202–203.

процессом, в котором исследователю, рассматривающему предположение A, удается подтвердить одно за другим несколько следствий B_1, B_2, B_3, ... Мы можем также сравнить его с судебной процедурой, в течение которой присяжные, исследуя обвинение A, замечают одно за другим несколько подтверждающих улик B_1, B_2, B_3, ... Нам не следует наивно ожидать тождественности этих трех процессов, но мы должны исследовать их сходство или различие без предвзятого мнения.

(1) Когда человек, решающий задачу, обдумывает свой план решения, этот план обычно является скорее «текучим», чем «жестким», он больше чувствуется, чем формулируется. В самом деле, для этого человека было бы глупо преждевременно фиксировать свой план. Умный человек не связывает себя жестким планом. Даже на более позднем этапе, когда план более созреет, он сохраняет этот план пригодным для видоизменений, оставляет ему некоторую гибкость, принимает во внимание непредвиденные трудности, к которым он может оказаться вынужденным приспосабливать свой план. Поэтому, когда он исследует осуществимость своего плана, он рассматривает изменчивый, иногда очень недолговечный объект.

С другой стороны, предположения, которые исследует математик или натуралист, обычно являются довольно определенными: они ясно сформулированы или по крайней мере разумно близки к ясной формулировке. И присяжные должны исследовать довольно определенное предположение: обвинительный акт, выражения которого тщательно подобраны обвинением.

Отметим это существенное различие между исследованием человеком, решающим задачу, осуществимости его плана и индуктивным исследованием математического или физического предположения или

судебным исследованием обвинения: это различие между изменчивым, или очень недолговечным, и неизменным, сравнительно хорошо определенным объектом.

(2) Заседания и решения суда присяжных заносятся в протокол. Предположение, исследуемое натуралистом, и доводы, собранные за или против него, также предназначены для постоянного протоколирования. Не так обстоит дело с предположением человека, решающего задачу, относительно осуществимости его схемы или с признаками, говорящими за или против нее: их значение мимолетно. Они крайне важны в то время, когда они руководят действиями человека, решающего задачу. Но когда его работа вступает в новую фазу, сам план может измениться, и тогда указания, говорящие за или против этого плана, теряют почти всякий интерес. В конце, когда решение достигнуто и задача решена, все такие аксессуары отбрасываются. Окончательная форма решения может быть записана, но изменявшиеся планы и аргументы за или против них в большей части или целиком забываются. Воздвигнутое здание остается на виду, но леса, которые были необходимы, чтобы его воздвигнуть, удаляются.

Отметим этот аспект различия между индуктивным или судебным исследованием, с одной стороны, и оценкой человеком, решающим задачу, перспектив своего плана – с другой: первое постоянно протоколируется, а второе нет.

(3) Предположение A и указания B_1, B_2,..., перечисленные в § 7, можно интерпретировать с известной широтой. После предыдущих замечаний [в (1) и (2)] нам не следует ожидать, что слишком часто будет применима четко определенная интерпретация. Все же есть некоторое преимущество в том, чтобы начать с такой интерпретации. Рассмотрим предположение A человека, решающего задачу, и указание B, подкрепляющее это предположение, в следующих формулировках:

A. Этот план решения можно осуществить в его теперешней форме.

B. Этот план решения принимает в расчет все данные.

Чтобы описать эту ситуацию точнее, прибавим: *Известно, что каждое из данных необходимо.* Если это так, то

Из *A* следует *B*.

Действительно, если бы план мог быть осуществлен и дать правильное решение, он должен был бы использовать все данные, каждое из которых необходимо для решения.

Теперь важно ясно себе представить ситуацию: *A* – предположение, в котором человек, решающий задачу, естественно заинтересован, *B* – утверждение, которое может быть истинным или нет. Исследуем обе возможности.

(4) Если для решения необходимы все данные, но наш план решения не принимает всех данных в расчет, то наш план в его теперешней форме не может быть осуществлен. (Он мог бы быть осуществлен в видоизмененной форме.) Иными словами, если *B* ложно, то и *A* должно быть ложно.

Теперь важно отметить, что мы могли бы прийти к этому заключению и с помощью формального рассуждения. Действительно, мы следовали здесь классической элементарной схеме рассуждения (уже приведенной в § 12.1) «modus tollens», так называемого гипотетического силлогизма:

Из *A* следует *B*

B ложно

A ложно

(5) Если, однако, наш план решения действительно принимает в расчет все данные, то естественно рассматривать это обстоятельство как благоприятный признак, как хорошую примету, что наш план может быть осуществлен. (Я представляю себе вид человека, решающего задачу, когда он замечает, что данное, которое, как ему казалось сначала, его

план не учитывает, в конце концов оказалось использованным планом, и при этом хорошо использованным.) Короче говоря, если *B* истинно, то *A* становится более правдоподобным.

Теперь важно отметить, что в действительности мы могли бы прийти к этому заключению, просто следуя нашей фундаментальной индуктивной схеме:

Из *A* следует *B*
B истинно

A более правдоподобно

(6) Рассмотрим теперь другую ситуацию. Она сходна с ситуацией, объясненной в (3) и разобранной в (4) и (5), но явным образом от нее отлична. Снова мы интересуемся предположением *A* человека, решающего задачу, и указанием *B*, подкрепляющим это предположение. Однако ситуация теперь иная (менее четко определенная). *A* и *B* имеют значения:

A. *Этот план решения может быть осуществлен (быть может, в видоизмененной форме).*

B. *Этот план решения принимает в расчет все данные.*

Чтобы охарактеризовать эту ситуацию более полно, прибавим: *Мы сильно подозреваем, хотя и не знаем определенно, что все данные необходимы.*

Как и выше, *A* – предположение, в котором человек, решающий задачу, очень заинтересован, а *B* – утверждение, которое может быть истинным или нет. Мы должны исследовать обе возможности.

Если *B* оказывается ложным, то появляется довод против *A*, но он не является полностью решающим. Поскольку *B* ложно, наш план не принимает в расчет всех данных; тем не менее мы можем придерживаться нашего плана (если мы имеем для него какое-нибудь сильное, хотя и ясно не сформулированное основание). Может иметься некоторое (еще не ставшее ясным) основание надеяться, что в конечном

счете какая-нибудь модификация нашего плана будет учитывать все данные. Некоторое влияние на нас могло бы оказать и сомнение в том, что все данные необходимы.

Если *B* оказывается истинным, то мы можем принять это обстоятельство за ободряющий признак. Действительно, даже если из *A* не следует *B*, и, таким образом, *B* вместе с *A* не является несомненным, все же может быть, что

B вместе с *A* весьма правдоподобно,

B без *A* не в такой мере правдоподобно.

В таком случае подтверждение можно рассматривать как своего рода косвенную улику в пользу *A*. [Ср. § 13.13(5).]

(7) В предыдущих пунктах (3), (4), (5) и (6) мы рассмотрели указание, обозначенное в § 7 символом B_1 (мы обозначали его просто *B).* Рассмотрение других указаний, перечисленных в § 7 (указаний B_2, B_3, …, B_6), обнаружило бы подобную же картину.

Как мы уже видели, из *A* может следовать B_1, но даже если это и не так и B_1 не обязательно присоединяется к *A*, могут иметься сильные шансы в пользу того, что *A* будет сопровождаться B_1. Такой же характер имеет отношение *A* к B_2 (или B_3, или B_4, ...). Если план человека, решающего задачу, хорош, то он должен создавать какую-то связь между данными и неизвестным (или между посылкой и заключением); ср. B_2. Не является абсолютно необходимым, чтобы решение было сходно с решением какой-либо ранее решенной сходной задачи, однако обычно довольно велики шансы того, чтобы это было так; ср. B_3, B_4. Если план осуществляется для всей задачи, то он должен, конечно, осуществляться для любого частного случая или любой части этой задачи; ср. B_5, B_6.

Следовательно, если мы сомневаемся в предположении *A*, но нам удалось наблюдать B_1, или B_2, или B_3, …, то мы можем разумно рассматривать наше наблюдение как

некоторого рода индуктивные доводы или косвенные улики в пользу *A*, как указание в пользу предположения человека, решающего задачу, что его план можно осуществить.

(8) Если, несмотря на значительный труд, натуралисту удается подтвердить только несколько, не слишком уж неожиданных следствий своего предположения, то он может быть вынужден от него отказаться. Если против подсудимого предъявлено слишком мало улик, суд может прекратить дело. Если после долгих и напряженных усилий человеку, решающему задачу, пришло на ум только несколько слабых указаний в пользу его плана, то он может быть вынужден радикально изменить свой план или даже совсем его отбросить.

С другой стороны, если было подтверждено несколько следствий, было предъявлено несколько улик против подсудимого, было подмечено несколько указаний, то доводы в пользу предположения натуралиста, в пользу обвинения или в пользу плана человека, решающего задачу, могут значительно усилиться. Однако даже более важную роль, чем число, может играть разнообразие. Следствия, очень отличающиеся одно от другого, свидетели, являющиеся очевидно независимыми, указания, приходящие с различных сторон, следует рассматривать как более веские. (Ср. §§ 12.2, 13.11, 15.9.)

(9) Несмотря на такое сходство, существует и заметное различие. Цель натуралиста – собрать за или против своего предположения столько доводов, сколько ему удастся. Цель суда – исследовать все относящиеся к делу предъявленные улики. Однако цель человека, решающего задачу, отнюдь не состоит в том, чтобы собрать столько, сколько ему удастся, доводов за или против своего плана решения или до самого конца обдумать эти доводы: его цель – решить задачу любыми средствами, следуя своему плану решения, или какому-нибудь другому плану, или не следуя никакому плану.

Даже ошибочный план может служить цели человека, решающего задачу. Чтобы решить свою задачу, он должен мобилизовать и организовать относящиеся к рассматриваемому вопросу части своего прошлого опыта. Работая с ошибочным планом, но с настоящим напряжением, он может расшевелить какую-нибудь подходящую идею, которая в противном случае осталась бы скрытой и непробужденной в его фоне[41]; это может дать ему новую отправную точку. При решении задачи плохой план часто оказывается полезным; он может вести к лучшему плану.

(10) Два человека, которым представлены одни и те же доводы, могут честно быть несогласны, даже если они руководствуются одними и теми же схемами правдоподобных рассуждений. Их фоны могут быть различными. Мои несформулированные, неясные основания, весь мой фон может оказывать влияние на мою оценку экспериментальных данных или судебных улик. Еще большее влияние могут они оказывать на мою оценку указаний за или против моего плана решения, и это не неразумно. Разумно, что, работая над решением задачи, больше веса, чем при других условиях, я должен придавать внушениям моего фона, и меньше веса – отчетливо сформулированным основаниям; расшевелить подходящий материал, скрытый где-то в фоне, – вот для чего я работаю.

Тем не менее мне кажется, что одно из главных достоинств человека, закаленного в решении задач, состоит в том, что он может проницательно оценивать указания за или против осуществимости своего плана, как прошедший хорошую школу натуралист оценивает экспериментальные данные или опытный юрист – судебные улики.

[41] См. примечание на стр. 212. – *Прим. перев.*

2.6. Методы научного познания

Успешность выполнения диссертации в наибольшей степени зависит от умения выбрать наиболее результативные методы исследования, поскольку именно они позволяют достичь поставленной в диссертации цели. Методы научного познания принято делить на общие и специальные[42].

Большинство специальных проблем конкретных наук и даже отдельные этапы их исследования требуют применения специальных методов решения. Разумеется, такие методы имеют весьма специфический характер. Естественно поэтому, что они изучаются, разрабатываются и совершенствуются в конкретных специальных науках. Они никогда не бывают произвольными, т. к. определяются характером исследуемого объекта.

Помимо специальных методов, характерных для определенных областей научного знания, существуют общие методы научного познания, которые в отличие от специальных используются на всем протяжении исследовательского процесса и в самых различных по предмету науках.

Общие методы научного познания обычно делят на три большие группы:

1) методы эмпирического исследования (наблюдение, сравнение, измерение, эксперимент);

2) методы, используемые как на эмпирическом, так и на теоретическом уровне исследования (абстрагирование, анализ и синтез, индукция и дедукция, моделирование и др.);

[42] Подробнее см.: Сицивица О. М. Методы и формы научного познания. М.: Высшая школа, 1972.

3) методы теоретического исследования (восхождение от абстрактного к конкретному и др.).

Наблюдение представляет собой активный познавательный процесс, опирающийся прежде всего на работу органов чувств человека и его предметную материальную деятельность. Это наиболее элементарный метод, выступающий, как правило, в качестве одного из элементов в составе других эмпирических методов.

В повседневной деятельности и в науке наблюдения должны приводить к результатам, которые не зависят от воли, чувств и желаний субъектов. Чтобы стать основой последующих теоретических и практических действий, эти наблюдения должны информировать нас об объективных свойствах и отношениях реально существующих предметов и явлений.

Для того чтобы быть плодотворным методом познания, наблюдение должно удовлетворять ряду требований, важнейшими из которых являются: 1) планомерность; 2) целенаправленность; 3) активность; 4) систематичность.

Наблюдение как средство познания дает в форме совокупности эмпирических утверждений первичную информацию о мире.

Сравнение – один из наиболее распространенных методов познания. Недаром говорится, что «все познается в сравнении». Сравнение позволяет установить сходство и различие предметов и явлений действительности. В результате сравнения устанавливается то общее, что присуще двум или нескольким объектам, а выявление общего, повторяющегося в явлениях, как известно, есть ступень на пути к познанию закономерностей и законов.

Для того чтобы сравнение было плодотворным, оно должно удовлетворять двум основным требованиям. Первое:

сравниваться должны лишь такие явления, между которыми может существовать определенная объективная общность. Второе: для познания объектов их сравнение должно осуществляться по наиболее важным, существенным (в плане конкретной познавательной задачи) признакам.

С помощью сравнения информация об объекте может быть получена двумя различными путями. Во-первых, она может выступать в качестве непосредственного результата сравнения. Во-вторых, очень часто получение первичной информации не выступает в качестве главной цели сравнения; этой целью является получение вторичной, или производной информации, являющейся результатом обработки первичных данных.

Измерение в отличие от сравнения является более точным познавательным средством. Измерение есть процедура определения численного значения некоторой величины посредством единицы измерения. Ценность этой процедуры в том, что она дает точные, количественно определенные сведения об окружающей действительности.

Важнейшим показателем качества измерения, его научной ценности является точность, которая зависит от усердия ученого, от применяемых им методов, но главным образом – от имеющихся измерительных приборов.

В числе эмпирических методов научного познания измерение занимает примерно такое же место, как наблюдение и сравнение.

Частным случаем наблюдения является **эксперимент**, т. е. такой метод научного исследования, который предполагает вмешательство в естественные условия существования предметов и явлений или воспроизведение определенных сторон предметов и явлений в специально

созданных условиях с целью изучения их без осложняющих процесс сопутствующих обстоятельств.

Экспериментальное изучение объектов по сравнению с наблюдением имеет ряд преимуществ: 1) в процессе эксперимента становится возможным изучение того или иного явления в «чистом виде»; 2) эксперимент позволяет исследовать свойства объектов действительности в экстремальных условиях.

Научно поставленный эксперимент может быть осуществлен лишь при наличии теории, которая определяет задачи такого эксперимента, дает обобщение и объяснение его результатов.

Организация эксперимента обычно имеет несколько последовательных стадий:

1) выдвижение научной гипотезы;

2) постановка конкретной задачи и выбор объекта исследований;

3) подготовка материальной базы для выполнения эксперимента;

4) выбор оптимального пути эксперимента;

5) наблюдение явлений при эксперименте и описание их;

6) анализ и обобщение полученных результатов.

Первая серия экспериментов во вновь организуемом исследовании обычно ставится как проверочная, и ее материалы в зачет не идут. Рекомендуется отработать систему учета данных, накапливаемых в итоге опытной проверки гипотезы. Все положительные и отрицательные результаты эксперимента записываются в лабораторный журнал.

Если в результате эксперимента должен быть получен какой-либо вещественный результат (новый прибор, машина, сплав металлов, лекарственный препарат и т. п.), то

опытная проверка идеи и гипотезы имеет многостадийный характер. Сначала отрабатывается проект, и в нужных случаях оформляется авторское свидетельство или патент для защиты приоритета. Затем проект проходит стадию изготовления опытного образца и лабораторного испытания. Если результаты проверки соответствуют творческому замыслу, то модель поступает для изготовления нескольких экспериментальных образцов и проверяется в лабораторных и производственных условиях. Одновременно производят оценку научно-технической, социальной и экономической значимости полученных результатов.

В настоящее время все большее внимание исследователей начинает привлекать социологический эксперимент, целью которого является изучение определенных общественных явлений на сравнительно небольших коллективах. Примером эксперимента такого рода может служить опробование основных идей современной экономической реформы в ряде регионов нашей страны.

В научном исследовании эксперимент и теория идут рука об руку. Они теснейшим образом взаимосвязаны. Всякое игнорирование эксперимента неизбежно ведет к ошибкам, этим неизменным спутницам умозрения. Поэтому всемерное развертывание экспериментальных исследований представляет собой один из наиболее важных магистральных путей развития всей современной науки.

Таковы общие эмпирические методы научного познания. Рассмотрим теперь методы, используемые на эмпирическом и теоретическом уровне исследования. К числу таких методов, как уже указывалось выше, относятся:

1) абстрагирование;
2) анализ и синтез;
3) индукция и дедукция;

4) моделирование;
5) исторический и логический методы;
6) идеализация;
7) формализация;
8) аксиоматический метод.

Абстрагирование носит в умственной деятельности универсальный характер, ибо каждый шаг мысли связан с этим процессом или с использованием его результата. Сущность этого метода состоит в мысленном отвлечении от несущественных свойств, связей, отношений, предметов и в одновременном выделении, фиксировании одной или нескольких интересующих исследователя сторон этих предметов.

Различают процесс абстрагирования и результат абстрагирования, называемый абстракцией. Обычно под результатом абстрагирования понимается знание о некоторых сторонах объектов. Процесс абстрагирования – это совокупность операций, ведущих к получению такого результата (абстракции). Примерами абстракции могут служить бесчисленные понятия, которыми оперирует человек не только в науке, но и в обыденной жизни: дерево, дом, дорога, жидкость и т. п.

Процесс абстрагирования имеет сложный двухступенчатый характер. На первой ступени абстрагирования производится отделение существенного от несущественного, вычленение наиболее важного в интересующих исследователя явлениях. Именно здесь осуществляется оценка различных сторон явления, различных факторов и т. д., т. е. идет подготовка акта абстракции, отвлечения.

Вторая ступень процесса абстрагирования состоит в реализации возможности абстрагирования, установленной ранее. Это и есть в собственном смысле акт абстракции или

отвлечения. Суть его состоит в том, что осуществляется замещение некоторого объекта X1 другим, менее богатым свойствами объектом X2, выступающим в качестве «модели» первого.

Операция абстрагирования может применяться как к реальным, так и к абстрактным объектам, т. е. к таким объектам, которые сами по себе уже являются результатом предшествующего абстрагирования.

Результатом процесса абстрагирования, как уже отмечалось выше, являются абстракции. Основная их функция состоит в том, что они позволяют заменить в познании сравнительно сложное простым (но выражающим основное в этом сложном!), помогая разобраться во всем бесконечном многообразии действительности путем их дифференциации, путем выделения в них самых различных сторон и свойств, путем установления отношений и связей между этими сторонами и свойствами, фиксации их в процессе познания.

Процесс абстрагирования тесно связан с другими методами исследования, и прежде всего с **анализом и синтезом**.

Анализ является методом научного исследования путем разложения предмета на составные части. Синтез представляет собой соединение полученных при анализе частей в нечто целое.

Анализ – краеугольный камень познавательного процесса, наиболее продуктивный его элемент. Он предполагает расчленение целого на составные элементы, то есть выделение признаков предмета, «для изучения их в отдельности как части единого целого»[43].

[43] Андреев И. Д. О методах научного анализа. М., 1964.

Чтобы выделить признаки предмета, расчленить целое, необходимо знать, каковы эти признаки, на какие элементы их должно расчленить. Следовательно, анализ возможен лишь тогда, когда исследователь подготовлен к тому, чтобы охватить предмет в его целостности, опираясь на дедуктивный метод. Ведь индукция и означает «выведение». Индукция и дедукция должны совпадать.

Полный охват фактов дает возможность не только объективно, верно оценить тенденцию явления, но и различные факторы, которые определяют его развитие, способствуют или препятствуют этому развитию.

Бывает и так, что в ходе анализа диссертант уходит от темы, подменяет ее. Отклонение от темы, движение анализа по произвольному пути приводит к разрушению логики исследования.

Во многих диссертациях часто приходится констатировать грех нелогичности, грех механических связок: «Надо еще отметить...», «Нельзя не сказать о том, что...». Разумеется, эти и подобные им обороты имеют право на существование, но иной раз они играют роль «аварийной службы» – прикрывая явную несвязанность материала. Эта несвязанность порождается в значительной степени отсутствием единой, объединяющей весь материал мысли, которая бы двигалась через целеустремленный анализ к выводам, обобщениям.

Строго проведенный анализ – серьезная гарантия логичности изложения материала диссертации. Анализируя факты, ее автор ищет ответ на конкретно поставленные вопросы. Во всех случаях анализ предполагает выяснение различных связей между фактами, между элементами целого, и это сообщает материалу диссертационного сочинения логическую цельность и завершенность.

Это означает, что при правильном «выведении» данные, почерпнутые в опыте, конкретные выводы из их анализа должны подтвердить общее положение, сложившееся на основе практики. Если же в ходе анализа индукция и дедукция не совпадут, значит, или анализ был проведен неверно, или качественно развившаяся практика поколебала общий принцип, обнаружила его неистинность.

Анализ опыта предполагает использование гипотетических методов исследования действительности, догадки, аналогии, в известном смысле – фантазии. Это настолько важный момент аналитического процесса, что на нем необходимо остановится особо.

В догадке, фантазии органически сочетаются дедукция и индукция. Может показаться странным, что в связи с проблемой анализа конкретных фактов идет речь о фантазии, которая как будто бы составляет удел искусства, эстетического творчества. Тем не менее это так. Даже представители точных наук подчеркивают важность фантазии, догадки. Так, математик Д. Пойа утверждает, что доказательство в математике открывается «с помощью правдоподобного рассуждения, с помощью догадки»[44].

Гипотетический анализ осуществляется с помощью дедукции. Дедуктивная посылка позволяет разработать определенную версию причинного ряда, объясняющего следствия. Версия гипотетического характера оправдана, если предположение содержит реалистическую идею, исходит из вариантов, один из которых содержит истину.

Возможно, что в истине, которая будет обнаружена в результате анализа, отразятся элементы нескольких версий. Разработка версий необходима тогда, когда сами по себе факты не дают представления о причинах явления, о

[44] Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. М., 1957.

происхождении тех или иных результатов. Впрочем, приступая к разработке темы, диссертант в каждом случае должен дедуктивно определить путь анализа конкретного явления, которое часто теми или иными сторонами «не укладывается» в некие нормативы, определяемые теоретически. Возникает поэтому необходимость вначале гипотетически строить анализ.

Синтез, как уже указывалось, представляет собой соединение полученных при анализе частей в единое целое. Как видно из определения этих методов, они представляют собой противоположности, взаимно предполагающие и дополняющие друг друга. Вся история познания учит тому, что анализ и синтез выступают как плодотворные методы познания лишь тогда, когда они используются в тесном единстве.

Анализ и синтез в познавательной деятельности теснейшим образом взаимосвязаны. Во-первых, анализ и синтез взаимно друг друга обусловливают. Для того чтобы стал возможным анализ вещи, она должна быть зафиксирована в нашем сознании как некоторое целое, т. е. предварительным условием анализа является целостное, синтетическое ее восприятие. И, напротив, синтез возможен лишь тогда, когда уже осуществлен анализ, когда выделены те или иные стороны и элементы некоторого целого.

Во-вторых, анализ и синтез не только предполагают, но и сопровождают друг друга. Вместе с тем синтезирование отдельных частей объекта, синтетическое воспроизведение отдельных его сторон предстает как определенная ступень в анализе целого. Например, целостное, синтетическое описание эмпирического познания представляет собой в то же время лишь момент анализа познавательного процесса как более сложной системы.

Таким образом, анализ и синтез диалектически взаимосвязаны, они предстают перед нами как неразрывное единство противоположностей. Причем в качестве основы диалектики анализа и синтеза как методов познания выступает объективная диалектика части и целого, единичного и общего, связи и отграничения.

Органически связанные между собой методы анализа и синтеза в научном творчестве могут принимать различные формы. В зависимости от степени познания объекта, от глубины проникновения в его сущность применяется анализ и синтез различного рода.

Прямой или эмпирический анализ и синтез применяется на стадии поверхностного ознакомления с объектом. При этом осуществляются выделение отдельных частей объекта, обнаружение его свойств, простейшие измерения, фиксация непосредственно данного, лежащего на поверхности общего. Этот вид анализа и синтеза дает возможность познать явление, но для проникновения в его сущность он недостаточен.

Возвратный, или элементарно-теоретический, анализ и синтез широко используется как мощное орудие достижения моментов сущности исследуемого явления. Здесь операции анализа и синтеза осуществляются не механически. Они базируются на некоторых теоретических соображениях, в качестве которых могут выступать предположения о причинно-следственной связи различных явлений, о действии какой-либо закономерности.

Наиболее глубоко проникнуть в сущность объекта позволяет структурно-генетический анализ и синтез. При этом идут дальше предположения о некоторой причинно-следственной связи. Этот тип анализа и синтеза требует вычленения в сложном явлении таких элементов, таких

звеньев, которые представляют самое центральное, самое главное в них, их «клеточку», оказывающую решающее влияние на все остальные стороны сущности объекта.

Любой эксперимент – исследовательский, проверочный и иллюстративный – может осуществляться как непосредственно с интересующим экспериментатора объектом, так и с «заменителем» этого объекта в познании – моделью. Эксперименты первого типа можно условно назвать натурными, эксперименты второго типа – модельными.

Использование моделей позволяет применить экспериментальный метод исследования к таким объектам, непосредственное оперирование с которыми затруднено или даже невозможно вследствие временной недоступности по различным, чаще всего экономическим или этическим соображениям.

Важнейшим достоинством экспериментирования с моделью является возможность изучения ее в более широком диапазоне условий, чем это допускает непосредственное оперирование с оригиналом. Это особенно заметно в медицине, где определенные границы исследованию ставит этика, опасение причинить вред человеку. На помощь ученому в этом случае могут прийти только различного рода модели, исследование которых свободно от подобного рода ограничений.

Моделирование – особый и весьма универсальный метод научного познания. Как известно, в процессе познания модель выступает, прежде всего, в качестве источника информации об оригинале и служит средством ее фиксации. Эта фиксация особенно ярко выражена у знаковых моделей, представляющих собой специфическую форму знания, тесно связанную с такими ее формами, как теория, гипотеза, закон и т. д.

Однако было бы ошибкой видеть сущность модели в ее сходстве с оригиналом. Если назвать аналогами в чем–то

сходные системы, то можно сказать, что у любой вещи есть бесчисленное множество аналогов (как известных, так и неизвестных), но моделями могут быть лишь некоторые из них. Модели – это такие аналоги, сходство которых с оригиналом существенно, а различие – несущественно в плане конкретной познавательной задачи. Быть аналогом данной материальной системы – это необходимое, но недостаточное условие того, чтобы быть ее моделью, аналог – это «потенциальная» модель. Следовательно, понятие модели носит в определенном смысле релятивный характер.

Аналогия – это не тождество, и вывод на основе аналогии всегда представляет некоторую опасность. Тем не менее такой вывод может привести к истинному знанию даже тогда, когда модель и оригинал представляют собой весьма различные в качественном отношении системы. Это возможно в том случае, когда в аналогии схвачены существенные черты рассматриваемых систем.

«Модельное» исследование имеет следующую структуру:

1. Постановка задачи.
2. Создание или выбор модели.
3. Исследование модели.
4. Перенос знания с модели на оригинал.

С помощью моделей могут исследоваться любые объекты. Но принципиальная неполнота, фрагментарность моделей не позволяет получить с их помощью исчерпывающего знания об оригинале. Только в сочетании с другими методами познания, в сочетании с непосредственным исследованием оригинала метод моделирования может быть плодотворным и иметь значительную эвристическую ценность.

Очень важными методами научного познания являются исторический и логический, которые применяются для

исследования сложных развивающихся объектов. Эти методы используются только там, где так или иначе предметом исследования становится история объекта.

Сущность **исторического метода** состоит в том, что история изучаемого объекта воспроизводится во всей своей многогранности, с учетом всех мельчайших зигзагов и случайностей. Когда нас интересуют имевшие место события, действия отдельных личностей, их связи, характеры и т. д., тогда исторический метод незаменим.

Областью применения исторического метода является, прежде всего, исследование человеческой истории. Однако этот метод используется также и в целях познания различных явлений и неживой природы. Таким образом, применение исторического метода позволяет получить представление об эмпирической истории объекта.

Логический метод исследования – это метод воспроизведения в мышлении сложного развивающегося (или развивавшегося) объекта в форме исторической теории. Можно сказать, что он позволяет получить представление о «теоретической истории» объекта. Для этого могут использоваться самые разнообразные познавательные операции и методы, однако было бы неправильно отождествлять с ними логический метод, являющийся особым способом воспроизведения, «реконструирования» в сознании истории развивающейся системы.

При логическом исследовании объекта отвлекаются от всех исторических случайностей, отдельных фактов, зигзагов и даже попятных движений, вызванных теми или иными событиями. Из истории вычленяется самое главное, определяющее, существенное. Она рассматривается, грубо говоря, не такой, какой была, а в «исправленном» виде. Логически воспроизведенная история – это действительная

история, но обобщенная, освобожденная от всего случайного, наносного, несущественного. В ней сохраняется только то, что закономерно и необходимо.

Рассмотрим теперь методы теоретического исследования. К ним обычно относят восхождение от абстрактного к конкретному, идеализацию, формализацию и аксиоматический метод.

Восхождение от абстрактного к конкретному является одним из наиболее важных методов теоретического мышления. Но прежде, чем переходить к характеристике существа этого метода, введем основные понятия.

Термин «абстрактное» употребляется в основном для характеристики человеческого знания. Под абстрактным понимается одностороннее, неполное знание, которое не раскрывает сущности предмета в целом. Объективным содержанием абстрактного являются отдельные стороны, свойства и связи вещей.

Термин «конкретное» обычно используется в двух основных смыслах. Во-первых, под конкретным понимается сама действительность, различные объекты, взятые во всем многообразии их свойств, связей и отношений. Во-вторых, термин «конкретное» употребляется для обозначения многогранного, всестороннего, систематического знания об объекте.

Восхождение от абстрактного к конкретному представляет собой всеобщую форму движения научного познания, закон отображения действительности в мышлении. Согласно этому методу процесс познания как бы разбивается на два относительно самостоятельных этапа.

На первом этапе происходит переход от чувственно-конкретного, от конкретного в действительности к его абстрактным определениям. Единый объект расчленяется, описывается при помощи множества понятий и суждений.

Он как бы «испаряется», превращаясь в совокупность зафиксированных мышлением абстракций, односторонних определений.

Второй этап процесса познания и есть восхождение от абстрактного к конкретному. Суть его состоит в движении мысли от абстрактных определений объекта, т. е. от абстрактного в познании к конкретному в познании. На этом этапе как бы восстанавливается исходная целостность объекта, он воспроизводится во всей своей многогранности – но уже в мышлении.

Оба этапа познания теснейшим образом взаимосвязаны. Восхождение от абстрактного к конкретному невозможно без предварительного «анатомирования» объекта мыслью, без восхождения от конкретного в действительности к абстрактным его определениям. Таким образом, можно сказать, что рассматриваемый метод представляет собой процесс познания, согласно которому мышление восходит от конкретного в действительности к абстрактному в мышлении и от него – к конкретному в мышлении.

Для целей научного познания широко используются так называемые идеальные объекты, которые не существуют в действительности: абсолютно твердое тело, твердое тело, абсолютно черное тело, электрический заряд, линия, точка и т. п. Мысленное конструирование объектов такого рода и называется **идеализацией**.

Процесс конструирования идеального объекта обязательно предполагает абстрагирующую деятельность сознания. Создавая такой идеальный объект, как абсолютно твердое тело, мы абстрагируемся от способности реальных тел деформироваться под воздействием внешних сил. Говоря об абсолютно черном теле, мы абстрагируемся от того факта, что все реальные тела в той или иной мере обладают

способностью отражать падающий на них свет. В любом случае идеализация включает в себя момент абстрагирования, что позволяет рассматривать идеализацию как вид абстрагирующей деятельности.

Полученные в результате сложной мыслительной деятельности идеальные объекты играют в науке большую роль. Они позволяют значительно упростить сложные системы, благодаря чему возникает возможность применить к ним математические методы исследования, производить вычисления с любой наперед заданной точностью.

С помощью идеализации исключаются те свойства и отношения объектов, которые затемняют сущность изучаемого процесса. Сложный процесс представляется как бы в «чистом» виде, что значительно облегчает обнаружение существенных связей и отношений, формулирование законов.

«Формализм», «формальный» – это слова, которые в обыденной жизни обычно используются как негативная характеристика человеческой деятельности и отношений. Что же касается науки, то в ней эти термины наполнены иным содержанием. Они характеризуют определенный подход к исследованию различных объектов, известный под названием метода формализации.

Метод формализации – это метод изучения самых разнообразных объектов путем отображения их содержания и структуры в знаковой форме, при помощи самых разнообразных «искусственных» языков, к числу которых относится, например, язык математики, математической логики, химии, радиотехники и ряда других наук. Использование специальной символики в этих науках является одним из необходимых и все более прогрессирующих методов отражения действительности человеком.

Формализация как метод имеет ряд достоинств. Во-первых, формализация обеспечивает полноту обозрения определенной области проблем, обобщенность подхода к их решению. Во-вторых, она базируется на использовании специальной символики, введение которой обеспечивает краткость и четкость фиксации знания. В-третьих, формализация связана с приписыванием отдельным символам или их системам определенных значений, что позволяет избежать многозначности терминов (или полисемии), которая свойственна обычным языкам. Поэтому при оперировании с формализованными системами рассуждения отличаются четкостью и строгостью, а выводы – доказательностью. В-четвертых, формализация позволяет формировать знаковые модели объектов и изучение реальных вещей и процессов заменять изучением этих моделей. Этим достигается упрощение объекта непосредственного исследования, что в значительной мере облегчает решение познавательных задач.

Подчеркивая плодотворность метода формализации, необходимо заметить, что его эффективность в значительной мере определяется тем, насколько правильно выявлено главное в содержании объекта, насколько удачно схвачена его сущность. Без этого даже самые искусные формальные манипуляции с символами окажутся бесплодными или приведут к ложным выводам.

В науке находит применение и **аксиоматический метод**, который представляет собой один из довольно распространенных способов организации научного знания. Особенно широко он применяется в математике и математических науках.

Под аксиоматическим методом построения определенной научной теории или дисциплины понимается такая их

организация, когда ряд утверждений принимается без доказательства, а все остальное знание выводится из них по определенным логическим правилам. Принимаемые без доказательства положения называются аксиомами, а выводное знание фиксируется в виде лемм, теорем, законов и т. п.

Аксиоматически построенная теория может быть признана действительно истинной в том случае, когда истинны как все аксиомы, так и правила, по которым получены все остальные утверждения теории. Только в этом случае такая теория может верно отображать действительность.

Аксиоматизация упорядочивает знание, исключает из него ненужные элементы, облегчает процесс построения всей системы знания, устраняет двусмысленности и противоречия. Иначе говоря, аксиоматический метод всесторонне рационализирует организацию научного знания.

Высоко оценивая такой метод, нужно сказать, что сфера его применимости хотя и растет, но остается пока относительно ограниченной. В нематематических науках аксиоматический метод играет подсобную роль, и прогресс его применения здесь существенно зависит от уровня математизации соответствующей области знания.

Таковы общие методы научного познания, которые в отличие от частнонаучных имеют широкую, хотя и ограниченную сферу применения. Так, они применяются не во всех областях знания, а лишь в части их. Например, наблюдение и эксперимент активно применяются в биологии и медицине и не находят применения в математике, и наоборот: широко используемые в математике метод идеализации и аксиоматический метод не находят применения в медицине и биологии.

Общие методы научного познания используются только на отдельных (а не на любых) ступенях процесса познания. Идеализация, формализация, аксиоматический метод и ряд других менее популярных методов находят широкое применение только на теоретическом уровне познания. Что же касается наблюдения, сравнения, измерения и эксперимента, то эти методы используются главным образом на эмпирическом уровне познания.

ТЕМА 6. РАБОТА ИССЛЕДОВАТЕЛЯ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА: ЖАНРОВАЯ СПЕЦИФИКА (РЕФЕРАТ, НИР, ДИПЛОМ), АППАРАТ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ, БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ ПОИСК И НАУЧНЫЙ ПОИСК

Научная работа всегда начинается с того, что исследователь (еще в этот момент будущий) определяется с областью своих интересов.

Это происходит по-разному в жизни разных исследователей, на нашей кафедре (кафедре защиты информации ФРКТ МФТИ) в начале каждого года студенты получают списки актуальных, на взгляд наших преподавателей, направлений и выбирают из них. Обычно, как бы ни происходил отбор того, из чего молодой исследователь выбирает, выбирает он все равно комплект из направления исследований и научного руководителя.

Это принято критиковать, мол, студент ведется на личность, а не на именно направление. Но мое личное мнение таково, что личность учителя действительно важнее, чем направление исследований, так как направление человек, уже став взрослым исследователем, может многократно поменять и вообще создать свое, а учитель – это навсегда, потому что мы складываемся как исследователи именно по его модели (ну или вопреки, что более трудоемко и менее приятно). Так или иначе не стоит придавать уж слишком большого значения тому, чтобы выбрать «свое» направление раз и на всю жизнь, в зависимости от склада характера может быть очень полезным, наоборот, попробовать себя в нескольких совсем разных. Помимо существенно менее случайного выбора (ведь первый раз мы

выбираем, как правило, практически наугад) в этом случае можно достичь еще одного положительного эффекта – расширения кругозора, причем не только фактического, но и, что важнее, – методологического. Не нужно бояться поменять тему, направление или научного руководителя – если студент ведет себя при этом корректно и аргументирует свои желания относительно рационально, это никого не обидит.

Задачи большие и малые

Однако вернемся к процессу самоопределения. Выбрав направление и научного руководителя, исследователь обсуждает с научным руководителем задачу, или, выражаясь классически, *целевую установку*, которая ляжет в основу его работы.

В зависимости от того, что это за работа – реферат, курсовая/НИР или диплом[1], задачи эти могут быть (более того, *должны быть*) совершенно разного рода. Однако в любом случае целевая установка конкретной работы должна быть связана с некоторой *практической задачей*, и связаны они должны быть вполне определенным образом: результат решения *задачи исследования* должен *иметь ценность* для решения какой-либо *практической задачи*. Именно так – «иметь ценность» – можно сформулировать, разумеется, только для обобщенного случая. В каждом конкретном случае – реферата, НИР и диплома – требования к этой ценности звучат более определенно. Но сначала имеет смысл понять общее в этих процессах.

Приступая к работе, исследователь должен уже ясно понимать эту цепочку – какую задачу решает в данной конкретной работе лично он, для какой конкретно практической задачи важен результат его работы и какое именно место в решении этой практической задачи этот результат должен занять.

[1] В рамках этой книги под «дипломом» понимается дипломная работа, а не дипломный проект, хотя значительная часть положений применима и к последнему, все-таки научным исследованием является именно дипломная работа.

Практика показывает, что чем точнее начинающий исследователь это понимает, тем меньше у него проблем с ходом и результатами исследований.

Например, задача работы – на основании обзора брокеров предложить критерии для выбора между ними. Это может быть задачей реферата или НИР, в зависимости от этого обзор будет сделан только на основе изучения литературы или еще на основе собственных исследований на стенде. Студент должен понимать, что представляет собой практическая задача, в которую он внесет вклад этим исследованием, грубо говоря, для чего в конечном итоге предстоит выбрать брокер (или, отказавшись от выбора, сделать новый, или выбрать тот, что для практической задачи X нужно будет переработать, и т. д.), потому что в этом случае меньше вероятность получения нерелевантного результата, результата, который будет для целевой задачи по каким-то причинам неинформативен, недостаточен или еще чем-либо плох. Знание практической задачи поможет ему точнее понять детали постановки вопроса, на который он должен ответить, учесть особенности, которые будут важны на других этапах работы над ней, а темы, которые для практической задачи не важны, наоборот, осветить более поверхностно. Если планируемая работа – реферат, то студент должен понимать, предстоит ли далее НИР по этому (или смежному) вопросу, или выбор будет делаться сразу на основании полученного в реферате результата. Это тоже повлияет на то, каким образом будут расставлены акценты в его работе с литературными источниками.

Пример цепочки задач и результатов, в которую включен реферат с такой целевой установкой, может выглядеть, например, так: задача реферата – на основании обзора литературы выделить критерии для сравнения брокеров, релевантные для основных параметров практической задачи, и провести первичный отбор брокеров для дальнейшего сравнения. Задача НИР в этом случае может стать такой – на основании критериев, выделенных в реферате, провести практическое сравнительное исследование отобранных на этапе реферата решений и выбрать тот, что будет использоваться в решении практической задачи. Результатом

НИР может стать выбор брокера, уточнение критериев выбора, выводы об отсутствии решения, подходящего к параметрам практической задачи, или частичном несоответствии имеющихся решений и необходимости их доработки. Далее, задачей дипломного исследования может стать доработка выбранного либо разработка нового брокера для практической задачи или создание архитектуры решения (или чего-то еще – модели угроз, концепции безопасности и т. д.) с выбранным брокером.

Зависимость задачи от жанра исследования

Задачи уровня реферата, НИР и диплома, естественно, разные. Эта разница обусловлена самими этими жанрами.

Реферат – это анализ некоторых источников, литературы и технической документации. Задачей реферата не может быть создание программы или устройства (или даже его прототипа или модели). Результатом реферата может быть только ответ на какой-то вопрос, полученный путем анализа или синтеза. В итоге работы над рефератом может сложиться гипотеза.

Соответственно, правильная задача для реферата – это сформулированный вопрос, ответ на который исследователь должен получить в ходе работы с источниками знаний. Задачу реферата формулирует руководитель.

Иногда руководитель формулирует задачу довольно размыто, и это не всегда говорит о том, что он просто плохо постарался. Скорее такая ситуация должна обрадовать, потому что, если исследователь получает задачу «в общем виде», значит, у нее точно нет заранее известного ответа. Может быть, научный руководитель предполагает, что в той предметной области, по которой он поручает студенту реферат, весьма вероятно, обнаружится что-то полезное для какой-то практической задачи или класса задач, но точно не знает, что именно. В такой ситуации от того, каковы собственные исследовательские возможности студента, может зависеть очень многое, вплоть до возникновения нового направления работ. Такие случаи в практике нашей кафедры были не раз, не единичны они и для совершенно других отраслей знаний, к

такому типу постановки задач относилась и целевая установка моего исследования (с поправкой на то, что у нас были не рефераты и НИР, а курсовые).

Очевидно, что невозможно решить задачу до тех пор, пока она не поставлена конкретно, а не «в общем виде». И в описанном случае формулировка задачи возлагается на исследователя – он по результатам изучения корпуса источников по широко сформулированной предметной области должен выделить что-то, что ему самому кажется интересным и перспективным для изучения, сформулировать вопрос и ответ на него. Это самый сложный, но и самый интересный случай реферата.

НИР – это также поиск ответа на некоторый вопрос, но получаемый уже не только путем работы с источниками, но и путем проведения непосредственных исследовательских процедур. В ходе НИР должно быть получено решение задачи, но оно может не быть новым, а задача может не быть актуальной. Это означает, что решение достаточно найти, *подобрать* из уже существующих в отрасли (знаний и техники) наработок, а не *создать*. Задачей НИР может быть выбор одного из решений по каким-то критериям, или формирование набора критериев для выбора, оценка применимости подхода либо решения, или выявление ограничения.

Задачу НИР формулирует руководитель.

В НИР, в отличие от диплома, решение задачи не обязано быть связанным с получением какого-то инженерного результата (хотя в большинстве случаев будет). Тема НИР может быть и аналитической, и исследовательской, более того, нормальным результатом для НИР является отрицательный результат (если поставлена задача выяснить принципиальную возможность или целесообразность чего-то, а это оказалось невозможно или нецелесообразно).

Диплом – это *новое* решение *актуальной* задачи. При этом соискатель должен показать умение *ставить* и *решать* задачу, то есть сформулировать и обосновать постановку задачи должен студент.

Диплом на нашей кафедре должен иметь инженерный результат, кроме исключительных случаев, которые заранее оговариваются. То есть новое решение актуальной задачи должно быть получено, а не только доказана его принципиальная возможность. На защите инженерное решение должно быть продемонстрировано непосредственно, а не только описано.

Приветствуются, но не обязательны акты о внедрении или результаты тестирования.

Получено должно быть не любое новое решение, а именно *актуальной задачи.* Задача ***актуальна***, если ее решение *устраняет проблему*, которая не имеет разрешения в текущем состоянии системы (то есть до постановки и решения задачи, поставленной и решенной в дипломе). Наличие этой самой проблемы определяет актуальность задачи. Формулировка задачи должна вытекать из формулировки проблемы, быть ясно связанной с нею. Если связь не очевидна или не очевидно, что решение задачи разрешит проблему, значит, сформулировано плохо, следует переформулировать.

Таким образом, решение задачи реферата должно *вносить вклад* в решение практической задачи, решение задачи НИР должно *обозначать пути* решения практической задачи, решение задачи диплома должно *давать решение* практической задачи.

Задачи рефератов и НИР формулирует руководитель, задачу диплома студент должен сформулировать при участии научного руководителя и с опорой на его помощь, но сам.

Далее рассмотрим некоторые важные параметры уже не задач, а решений, результатов исследования, которые должны быть отражены во введении работы.

Новизна решения

Важно понимать, что требование *новизны* к решению не является требованием *единственности* этого решения. К моменту проведения исследования может быть получено уже сколь угодно много решений той же самой задачи, но раз

задача все еще актуальна (а это значит, что проблема не решена), то предложение новых решений уместно.

Ошибка, которую в связи с этим часто совершает начинающий исследователь, заключается в том, что свое новое решение он называет «оптимальным», а ранее представленные – «неоптимальными». Делать этого не следует, так как слово «оптимально» обозначает вполне определенную характеристику, а не просто «хорошее», в отличие от плохого «неоптимального».

«Оптимальное» – это характеристика соотношения. Правильный контекст употребления этого слова – именно как определение к слову «соотношение»: «оптимальное соотношение цены и качества», «оптимальное соотношение скорости и надежности» etc.

Кроме того, оптимальность соотношения выделенных характеристик (находящихся, соответственно, в обратно пропорциональной зависимости) устанавливается обязательно для конкретных условий, оказывающих существенное влияние на значимость показателей соотношения этих характеристик. Если вы не умеете плавать, то соотношение простоты использования и остойчивости (так называется свойство удерживаться и удерживать груз на воде) надувного круга оптимально при купании в бассейне, недостаточно при переправе через реку и избыточно при покраске потолка.

Проблема

Итак, задача диплома – это решение некоторой проблемы. Что такое проблема? Проблема – это такая задача или вопрос, которые не имеют решения при текущем состоянии системы. Логические проблемы называются парадоксами. Это некие ситуации, не имеющие «правильного ответа» в рамках формальной логики. Проблема – это именно то, что описывает теорема Гёделя о неполноте [27]. Коротко эта теорема Курта Гёделя сводится к тому, что если система S непротиворечива, то в ней обязательно есть формула A, которая неопровержима и недоказуема в рамках системы S. И это, вообще говоря, явный признак того, что наука всегда имеет перспективы развития, так как, действуя в рамках пусть универсальной, но

одной формальной модели, мы неизбежно натолкнемся на ее неполноту, на невозможность решить какую-то задачу без изменения модели. Изменение модели и решение проблемы – это и есть желаемый научный результат.

Формулировка проблемы не обязательна для реферата и НИР. Однако исследование будет проведено более осмысленно и оформлено более отчетливо, если исследователь понимает, какая проблема мотивирует его задачу, какая модель неполна и порождает эту проблему, какие изменения он в нее вносит и почему проблема устраняется (или устранится через те несколько шагов, которые отделяют реферат от решения практической задачи).

Итак, проблема – это существующее противоречие, не разрешимое в рамках текущего состояния системы (формальной модели). Задача исследования – такое *изменение модели*, которое приведет к разрешению этого противоречия.

Тема и форма результата

Тема исследования должна ясно обозначать его задачу и форму намеченного результата. Тем, что разрешит противоречие, может стать механизм, способ, решение. Подход подойдет в качестве формы результата НИР. Метод – для докторской диссертации.

Помимо указания на форму результата, тема диплома должна указывать на характер работы. Предпочтительным для нашей кафедры является характер «разработка», также значительную теоретическую и практическую ценность могут иметь темы «исследование». Однако это не вопрос вкуса и желания, характер исследования детерминирован его задачей. И если тема сформулирована в этом смысле неверно, это выдает недостаточно ясное понимание исследователем своей задачи, что является серьезным недостатком.

Остальные требования к теме диктуются здравым смыслом. Тема не должна быть слишком длинной, не должна быть перегружена деталями, но и не должна быть слишком размытой.

Выработка темы – это довольно нетривиальный процесс, как правило, она производится коллегиально, темы

исследований утверждаются и фиксируются документально. Нужно спокойно относиться к тому, что тема исследования критикуется, меняется, уточняется – этот процесс сам по себе является крайне полезным для исследователя, так как раскрывает различные аспекты его темы, которые ему самому по различным причинам обнаружить или осознать не удалось. К обсуждению своей темы, даже если вас к нему не привлекают, нужно непременно внимательно прислушиваться, так как оно может натолкнуть на различные важные мысли.

Цель и задачи

После формулировки темы необходимо сформулировать цель исследования. Цель исследования, если студентом не был пропущен ни один из описанных выше этапов, формулируется предельно просто – это решение той самой задачи, которая состоит в разрешении проблемы. Поскольку все это к моменту формулировки цели определено (проблему выяснили, задачу поставили), процесс становится формальным.

Далее производится декомпозиция цели исследования – формулируются его задачи. Здесь важно не перепутать вот эти задачи исследования, набор которых является декомпозицией цели, и задачу работы в целом. Вообще говоря, разница между ними довольно очевидна, но сбивает с толку употребление одного и того же слова. Чтобы этого избежать, можно остановиться на том, чтобы в значении задачи всего исследования целиком применять слово «цель» или уже упомянутое выражение «целевая установка», а не задача. Это не очень удобно, так как слово «цель» включено в другие семантические ряды – ее не решают, а достигают, соответственно, и т. д.

Задачи же исследования, как правило, – это *этапы* достижения цели (поскольку решают их, как правило, последовательно), но декомпозиция может быть проведена и иначе, могут выделяться не последовательные этапы, а параллельные задачи. Связь между задачами должна быть исследователем осознана, так как она ложится в основу

композиции работы, и желательно, чтобы она тоже была явно отражена во введении, помимо самого списка задач.

В случаях, когда перечень задач не самоочевиден (по правде говоря, это так почти всегда), необходимо мотивировать, почему он сформирован именно таким образом.

Предмет и объект

Еще две сущности, в отношении которых у начинающих исследователей часто возникает непонимание, – это предмет и объект исследования.

Объект исследования – это та часть реальности, которую вы исследуете. Например, язык такого-то государства в таком-то веке, вегетативные реакции мелких грызунов и аналогичные. Объекты исследования в области защиты информации бывают, например, такие: стандарт NGAC; правовая основа обеспечения информационной безопасности; виртуальная инфраструктура, построенная на платформе виртуализации VMware vSphere.

Предмет исследования – это та часть объекта, которую вы исследуете. Например, механизмы словообразования или влияние интенсивности раздражающего сигнала на продолжительность реакции. Предметом исследования в области защиты информации могут быть: возможность использования стандарта NGAC для построения централизованной модели ПКД системы «Аккорд»; меры защиты информации в государственных информационных системах; конфигурация виртуальной инфраструктуры как объект контроля целостности.

Важно не путать предмет и объект, часто это происходит просто в силу близости значений этих слов. Умение определять их верно – один из критериев оценки владения научным дискурсом.

Список литературы

Затем совместно с научным руководителем студент формирует базовый список литературы. Список литературы не

является частью введения, он помещается в конце текста работы.

В зависимости от того, какой педагогической схемы придерживается научный руководитель, этот процесс может протекать совершенно по-разному. Иногда научный руководитель дает полностью весь список источников, которые студент, на его взгляд, должен изучить, иногда он ставит студенту задачу по самостоятельному поиску нужных источников. Но в любом случае какие-то произведения, которые он считает базовыми, пусть и не строго по проблеме, а, возможно, более общего или фундаментального характера, он, несомненно, назовет.

Далее поиск целесообразно производить по нескольким направлениям. В первую очередь – ознакомиться с предложенными сочинениями и выявить из них:

1) принципиальные подходы, которые ваш научный руководитель считает верными,

2) фамилии авторов, которых он считает авторитетными (в первую очередь – это авторы самих рекомендованных сочинений, в следующую – авторы, на сочинения которых опираются или ссылаются в положительном смысле).

Разумеется, все источники из тех, на которые ссылаются базовые сочинения и которые при этом хотя бы в значительной мере подходят к теме исследования, необходимо внести список и прочитать, проделав те же манипуляции со ссылками.

Но легко заметить, что таким образом вы будете углубляться ниже и ниже в глубь истории и можете упустить наиболее современные источники, а в них может оказаться что-то, перевернувшее состояние вопроса радикально.

Для того чтобы такого не происходило, существуют инструменты библиографического поиска. Начинать целесообразно не с того, чтобы ввести в строке поисковика название предмета исследования (это сделать тоже обязательно нужно, но уже после того, как будет сформирован основной корпус, вы ознакомитесь с парадигмой, признаваемой верной вашим научным руководителем, и будете готовы перейти к критическому анализу).

В первую же очередь надо сделать следующее – в электронной библиотеке РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) www.elibrary.ru следует найти авторов, выявленных на предыдущем этапе, и посмотреть, какие еще их произведения могут быть вам полезны. Затем, если в РИНЦ есть непосредственно те произведения, которые были вам рекомендованы (их там может не оказаться по ряду причин, основная среди которых – человеческий фактор – библиотека наполняется вручную и медленно), надо вывести список цитирований нужного вам автора (такая функция есть в вертикальном меню справа на экране) и найти произведения, процитировавшие книгу или статью из вашего базового списка.

После того как вы оцените эти произведения на предмет отношения к предмету вашего исследования, если результат кажется недостаточным, стоит посмотреть и цитирования других произведений того же автора.

Затем те же манипуляции нужно произвести со всеми выявленными авторами и произведениями.

Другие приемы библиографического поиска мы рассмотрим в специально посвященной работе с научными источниками теме, для общего представления о процессе достаточно приведенного.

Таким образом сложится список сочинений, опиравшихся в той или иной мере на базовые сочинения (или базовых авторов). Ознакомившись с таким корпусом работ и проанализировав его, можно приступать к изучению полемической стороны вопросы.

В первую очередь, среди ссылающихся тоже вполне могут быть авторы, категорически несогласные с тем, на что они ссылаются, и ссылающиеся именно в полемическом ключе.

Однако надо признать, что стадия становления защиты информации как науки еще такова, что научная полемика в полном смысле слова свойственна ей пока только в очень редких случаях. Тем не менее, именно на эти образцы надо

ориентироваться, потому что полемическая составляющая – очень важная часть научного процесса.

В большинстве же своем авторы, придерживающиеся другой (относительно чьей-либо) точки зрения, просто игнорируют противоположную позицию, поэтому очень велика вероятность не найти такие сочинения через списки цитирования.

И в этом случае как раз очень полезен поиск по предмету исследования просто в интернет-поисковиках. Однако результаты этого поиска, безусловно, должны оцениваться критически – обязательно надо придавать значение тому, каков статус источника (это рекламная статья в интернет-издании? Или статья (пусть и тенденциозная, ведь каждый автор в чем-то заинтересован) авторитетного специалиста в авторитетном издании? Или, может быть, книга или блог популярного гуру?). Все эти источники могут использоваться, но должны оцениваться с учетом контекста и дискурса, а не по одной мерке с научной литературой.

Интернет

Отдельно имеет смысл сказать о том, насколько и в каких случаях допустимо или, напротив, неуместно использование в научном исследовании источников из Интернета.

Разумеется, в целом оно вполне уместно. Требования ссылаться только на аналоговые публикации, если они выдвигаются, являются откровенно волюнтаристскими и несовременными. Однако в то же время необходимо выдерживать определенную логику при отборе источников и ссылках на них.

1. Ссылаться можно только на ясно атрибутируемый и атрибутированный источник. То есть если вы не можете выяснить, кто автор размещенного на каком-то сайте в Интернете текста, что это за текст, как он называется и в каком смысле (в качестве чего) он тут опубликован, – ссылаться на него неверно. Это звучит как описание какого-то вырожденного случая, однако такие примеры встречаются чаще, чем хотелось бы. И если сослаться на техническую документацию, размещенную на сайте производителя

(производителя именно того, на что эта документация, а не производителя вообще чего-нибудь!), можно и без проверки фамилии автора, то в случае даже с той же документацией, но размещенной в переводе на другой язык и на сайте, который уверенно нельзя связать с каким-то субъектом, который может быть оценен с точки зрения того, насколько надежным источником такой документации он является, лучше поискать где-нибудь еще. И, найдя, обязательно указать не только адрес страницы, но и что это за сайт (официальный сайт какой-то компании, или какого-то человека, или учебного/научного заведения, или библиотека, etc.).

Неприемлемо ссылаться просто на «лекцию по…» и адрес сайта. Если нет возможности определить автора, то ссылаться на лекции такого-то учебного заведения можно только в таком же контексте, в котором возможны ссылки в научном тексте на источники типа Википедии (см. об этом ниже).

2. Ссылаться на источники общественного характера – Википедию, блоги, форумы и разного рода профессиональные или околопрофессиональные сообщества – можно, но только в одном случае – если вы хотите обрисовать то, каково видение того или иного предмета «в широких массах» (именно так поступила автор этих строк, сославшись на статью Википедии «Теорема Гёделя о неполноте» в начале этого раздела). В любом другом случае быть источником научного исследования такие ресурсы не могут.

3. Если публикация в Интернете является повторением публикации аналоговой (например, электронная версия журнала (не путать с электронным журналом), книга, размещенная в электронном виде на каком-либо сайте, и т. д.), то правильно ссылаться сразу и на выходные данные аналогового издания, и на сайт, на котором вы фактически прочитали (или скачали) этот источник. Часто исследователи от этого уклоняются, но это нарушает культуру научной ссылки – если вы имеете возможность сослаться, но не ссылаетесь на страницу (или страницы), вы этим затрудняете поиск тому, кто будет читать ваш текст и захочет ознакомиться с источником, на который вы сослались. В общем случае

преподавателями это будет воспринято как ложная ссылка – переписанная из чьего-либо чужого исследования.

Это, в основном, все особенности использования источников из сети Интернет. Непосредственные правила оформления ссылок на источники разных типов приведены в ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка», и к некоторым из них мы еще вернемся[2].

Итак, главное, что следует уяснить, – список литературы формируется итерационно. Это касается работ всех упомянутых видов: реферата, НИР, диплома. Более подробному освещению принципов работы с литературой будет посвящена отдельная тема, так как это очень важная часть научного исследования.

Реферат

Далее перейдем к процессу написания реферата – как самостоятельной работы, так и как части более обширного исследования. Вообще говоря, ни процесс, ни результат написания реферата как целого и как части практически ничем не отличаются.

Основная часть реферата (то есть не считая титульного листа, оглавления, аннотации, различных списков (терминов, сокращений, литературы), введения и заключения) должна быть объемом от 5 до 15 страниц (естественно, возможны отклонения по разным причинам как в одну, так и в другую сторону).

Как любое законченное произведение словесности, он должен иметь введение, основную часть и заключение.

Во введении должны быть заданы основные координаты проведенной работы – для чего анализируется литература (ответ на какой вопрос ищем), каким образом сформирована выборка литературы (например, это может быть определенный хронологический период или исследования каких-то определенных стран, может быть; возможно, выбраны наиболее яркие представители противоположных направлений

[2] В конце раздела помещена памятка по оформлению ссылок и списков литературы, подготовленная к. ф. н. А. В. Духаниной.

или, наоборот, все представители какого-то одного; логика отбора может быть разной, но из введения должно быть ясно, что она есть, выборка не случайная), почему выборка сформирована именно таким образом, почему полученная выборка репрезентативна (достаточна для того, чтобы делать из нее выводы). Также, если реферат объемный, во введении имеет смысл осветить его композицию или метод построения (критический анализ каждого отдельного произведения или их сопоставление, в части подходов или в части результатов, и т. д.). Это не обязательно, но, если это будет описано, вас поймут точнее и ваши способности к научному анализу будут оценены выше.

В основной части должен быть представлен собственно анализ источников. Он может быть построен по-разному в зависимости, в первую очередь, от состояния вопроса. Если предмет исследования или вопрос, стоящий перед исследователем, новый – то весьма вероятно, что *напрямую* в литературе про это найти ничего не удастся. В этом случае задача реферата во многом сводится к тому, чтобы проиллюстрировать этот факт – показать, что ракурс рассмотрения объекта исследования или принятые до сих пор методы исследования таковы, что предмету или вопросу просто не было возможности проявиться в литературе, она вся – не об этом. Однако будет существенно лучше, если в то же время вы найдете возможность показать, что что-то вы из научной литературы таки почерпнули – какие-то смежные области могут дать косвенные уточняющие данные, привлечение методов и материалов даже других дисциплин может дать почву для гипотез по аналогии и методов их проверок. Хорошо, если направления для этих выкладок будут заложены в реферативной части исследования.

Анализ источников не должен быть построен как нарратив о каком-то объективном состоянии дел. Из текста должно быть ясно видно, откуда почерпнуты те или иные сведения, как соотносятся между собой проанализированные произведения и представленные в них концепции, к кому автор реферата присоединяется, а с кем не согласен и почему.

В заключении реферата подводятся итоги и формулируются выводы, которые должны содержать как собственную позицию исследователя по изученному вопросу, так и перспективы применения полученного аналитического результата, его связь с некоторой задачей более общего характера. В случае когда реферат представляет собой часть НИР или диплома – это связь с целью основной работы, в случае если это отдельно взятая работа – соображения студента насчет того, как полученные результаты могут быть использованы дальше.

Анализ литературы – это один из видов научного поиска, поэтому в результате написания реферата может сложиться гипотеза или, что случается чаще, могут быть выявлены узкие места теории. Это хороший, но необязательный результат работы данного типа. Такие результаты обязательно следует привести в заключении, но их не надо стремиться обязательно «высосать из пальца».

Научный поиск следует отличать от библиографического поиска. Последний, как мы уже разобрались, представляет собой процесс сбора корпуса трудов по интересующей исследователя теме. Научным же поиском называют собственно процесс исследования. Результат библиографического поиска – список источников для анализа истории и теории вопроса. Результат научного поиска – гипотеза, теория, изобретение или открытие.

Критика и полемика

Здесь уместно будет вкратце остановиться на понятиях научной критики и научной полемики, коль скоро о них заходила речь выше.

Эти понятия тоже относятся к тем, что семантически близки, но ни в коем случае не должны смешиваться.

Научная полемика – это одна из форм анализа, то есть научного поиска. Она обязательно имеет своей целью

установление истинности одной из тех позиций, в отношении которых ведется полемика. То есть аналогично «опровержению» в риторике – это аргументация не с целью скомпрометировать чужое мнение, а с целью *утвердить свое*. Если полемика не содержит формулировок о том, *в отличие от чего*, собственно, неверно то, с чем полемизирует исследователь, то это не полемика, это критика.

Полемика должна разворачиваться таким образом, чтобы конкурирующие гипотезы (или теории) были сопоставлены добросовестно, на одних основаниях, и если для одной из них указываются узкие места – недостаточно проработанные или ненадежно аргументированные, не подтвержденные экспериментально, то по тем же параметрам должны быть проанализированы соответствующие компоненты гипотезы, предлагаемой в качестве альтернативы.

Например, если оспариваемый подход не учитывает, предположим, динамический характер какого-то параметра, то корректная полемика требует указания на то, учитывает ли этот характер альтернативный подход. Если в нем вообще не идет об этом речь, то данный довод для полемики некорректен, и аргументация должна быть построена иначе. Предметом компрометации в этом случае должен стать тот поворот рассуждения, который приводит к тому, что параметр N становится значимым и его динамический характер должен учитываться, а не учитывается, в отличие от противоположной позиции, которая не зависит от этого параметра совсем.

То есть приемлемость подхода опровергается за счет того факта, что он некорректно реализован, по сути дела, что является не слишком сильным обвинением. В этом случае придется дополнительно доказывать, почему реализовать *его же*, но правильно (коль скоро ошибка обнаружена) – менее предпочтительно, чем идти вообще по другому пути. Проще говоря, почему следует не учесть динамический характер параметра, а использовать ваш подход.

Критика же не предполагает непременного приведения положительной альтернативы тому, что оспаривается. Критика – это выявление и анализ недостатков конкретного

объекта критики (это может быть отдельное произведение, подход или целое направление). Казалось бы, это сделать заметно проще, а раз так, то какая разница, как это называется, критика – так критика.

Разница в том, что критика, в отличие от полемики, *не являясь формой научного поиска*, уместна только в строго определенных случаях, которые связаны с написанием рецензий различного рода. При этом написание рецензии, если оно не обусловлено какой-то обязанностью (ролью рецензента, необходимостью принять или отклонить текст, претендующий на публикацию, и аналогичными), выглядит довольно странно и воспринимается, в основном, как проявление каких-то личных взаимоотношений авторов. Это не всегда так и есть, но если цели преследуются исключительно научные, то критику следует заменить полемикой.

Теоретически реферат может содержать критику, в случае если для полемики исследователю не удалось ни найти положительную альтернативу в уже введенной в научный оборот литературе, ни сформировать собственную позицию. Однако это ситуация, которая чревата повышенным вниманием к проведенному анализу, исследователь должен быть готов аргументированно доказать невозможность выбора позиции, к которой он мог бы присоединиться. Желательно приложить все усилия к тому, чтобы избегнуть такой ситуации, например, сформировав свою собственную гипотезу, лишенную недостатков, отмеченных в реферируемых источниках.

В целом же и к научной критике, и к научной полемике должны применяться все те же критерии научности, что и к любому другому научному процессу и результату.

Цитирование и пересказ

Последнее, что необходимо рассмотреть в отношении реферата, – это цитирование и пересказ как способы подачи материала чужих исследований.

В чем разница между этими двумя способами – вполне очевидно: цитирование – это дословная передача текста, а пересказ – это передача «своими словами», недословная.

В обоих случаях в тексте должны содержаться явное указание на автора текста и ссылка на произведение. Цитата должна обязательно даваться в кавычках строго дословно, даже дознаково – при цитировании не должны меняться ни падежи, ни знаки препинания, ни использование заглавных и строчных букв (даже если вы по принципиальным соображениям пишете слово Бог только с маленькой буквы, в цитате его надо писать так, как написал автор). Источник цитаты нужно указывать со страницей, на которой находится именно этот процитированный текст, а не на произведение целиком.

В научном дискурсе принято два основных способа ввода цитаты – через автора (Фердинанд де Соссюр придерживался по этому вопросу следующего мнения: «…» [1. С. 274]) и через ссылку на источник (в [2] по этому поводу утверждается следующее: «…» [2. С. 13]). Обычно к первому или ко второму способу прибегают в зависимости от желания или нежелания сделать акцент на фамилии автора. Это может быть связано с самыми разными мотивами – с несогласием с кем-то авторитетным, или, напротив, с нежеланием переносить акцент с аргументации автора на авторитетность его фамилии, или же с тем, что фамилия этого автора, на взгляд исследователя, никому ни о чем не скажет и не стоит ее упоминать. В любом случае это выбор цитирующего, он ничем не регламентируется. На мой взгляд, более гармонично в стилистическом отношении и удобно с точки зрения восприятия текста читающим выглядит первый способ – подачи цитаты через фамилию автора. Основной аргумент противоположной позиции в том, что фамилии отвлекают от сюжета текста.

Пересказ подается без кавычек и допускает, по сути, ничем не регламентируемые переформулировки, в чем и состоит некоторая его опасность – иногда пересказ может довольно далеко отклоняться от того, что автор пересказываемого текста на самом деле написал. Пересказ тоже должен вводиться с обязательным указанием автора и источника, а также – поскольку не используются кавычки, которые визуально сразу выделяют границу между своим и

чужим текстом, – при пересказе надо явно давать понять, где заканчивается изложение чужого текста и начинается собственный текст исследователя. Это сделать совсем не сложно, и если это не делается, то, как правило, специально, чтобы размыть эту границу и приписать пересказываемое себе. Чтобы избежать такого впечатления от вашего текста, всегда следите, чтобы пересказ был явно выделен.

Выбор из этих двух способов – цитирования или пересказа – не должен осуществляться произвольно. Предпочтительным является цитирование. Противопоказанием к цитированию (и, соответственно, показанием к пересказу) могут быть следующие обстоятельства:

1) Главная причина – если требуется передать общую концепцию и цитирование невозможно потому, что это было бы равносильно перепечатыванию всей статьи или книги (а может быть, и нескольких произведений) целиком. В этом случае, разумеется, ни о каком цитировании не может быть и речи.

2) Требуется передать не общую концепцию, а позицию по какому-то частному вопросу или даже вообще пример, материал иллюстративного содержания, но большой по объему. В этом случае исследователю нужно принять самостоятельное решение – все же привести большую по объему цитату или ограничиться пересказом. В первую очередь это зависит от того, насколько подробно исследователю необходимо изложить материал. Если важным для него являются именно детали, составляющие в основном объем текста, то смысла его переформулировать нет, лучше дать цитату. Как правило, за исключением хрестоматий и других видов учебной литературы, цитата должна быть менее страницы. Но это скорее обычай, чем правило.

3) Текст, который требуется передать, изобилует лишними для целей исследователя подробностями, которые затруднят восприятие той мысли, для иллюстрации которой исследователь прибегает к передаче чужого текста. Это могут быть примеры, отступления, какие-то стилистические особенности. Если требуемое можно выразить значительно короче и это соответствует задаче исследователя, то пересказ с сокращением уместен.

4) Текст, который требуется передать, может содержать ошибки различного рода. Если целью цитирования не является выставление этих ошибок на показ, то исследователь попадает в щекотливую ситуацию. Наилучшим выходом будет именно пересказ.

5) Наконец, последней серьезной причиной для выбора пересказа, а не цитирования может быть композиционная особенность замысла. Если исследователь проводит какие-то параллели, сопоставляет взгляды разных авторов, делает подборку мнений по какому-то вопросу – то может быть целесообразной переформулировка исходных текстов так, чтобы они укладывались в некоторую синтаксическую или логическую конструкцию, приведение их к какому-то общему основанию.

С этим случаем нужно быть особенно осторожным, чтобы, во-первых, не исказить пересказываемый текст принципиально и, во-вторых, чтобы пересказ не оказался настолько непохожим на исходный текст, чтобы вызвать подозрения в искажении. Если такое произошло и вполне вероятно, что у читающего возникнет возражение по поводу адекватности пересказа, лучше сразу оговорить, почему вы считаете свою версию релевантной оригиналу.

Во всех остальных случаях лучше остановить свой выбор на цитировании и процитировать дословно и в кавычках.

Что касается ссылок на источник пересказа, то в самом первом случае нормально ссылаться на произведение (или произведения) целиком, без страниц. Также это может быть уместно в случаях 3 и 5. В остальных же случаях культура научной ссылки предусматривает точную локализацию источника – с указанием страниц.

Естественным исключением является источник в Интернете, если он не является размещением электронного макета аналогового издания – с номерами страниц, а представляет собой сплошной текст, возможно, разбитый тем или иным способом, но не на книжные страницы. В этом случае, если не удалось найти тот же текст в другом представлении,

ничего не остается, кроме как сослаться на расположение произведения целиком, но в тексте работы уточнить раздел, пункт, главу или какой-то иной вид рубрикации, который все-таки позволит читающему ваш текст отыскать место, на которое вы сослались.

Еще один вопрос, который стоит оговорить в связи с цитированием, заключается в том, на что следует ссылаться в случаях, когда нужное вам положение имеется в разных произведениях разных авторов.

Иногда вполне уместно и предпочтительно сослаться именно на все источники, в которых обнаружилось изложение подходящей точки зрения. Если по каким-то причинам вы не хотите выделять ни один из источников, то следует, конечно, прибегнуть к пересказу, который ввести словами типа «является общим местом, что…», «многие исследователи сходятся во мнении, что…», «в большом числе источников можно увидеть положение…» и аналогичными.

Если же есть целесообразность выделить какой-то источник особо, то для этого есть подходящий механизм – можно его процитировать, а остальные ввести фразой типа «сходной позиции придерживаются…». Однако тут мы сталкиваемся с тонким моментом – выделение в качестве цитируемого какого-то одного источника не должно выглядеть случайным. Избежать этого довольно легко, ведь и на самом деле вы выбираете источник не случайно, и надо просто указать эту причину. Например, именно в этой формулировке наиболее ясно что-то продемонстрировано, названо более точно, в общем, так или иначе именно эта формулировка вам почему-то подходит лучше, чем остальные. Это достаточное основание.

Но иногда мы руководствуемся другими мотивами, которые выразить может быть сложнее. Если среди корпуса цитат есть цитата научного руководителя (это касается не только рефератов, НИР и дипломов, но и диссертаций), то естественно и прилично выбрать именно ее, дополнительного обоснования такой выбор не потребует. Другим мотивом для выбора может быть принадлежность автора к дружественной научной школе, или, наоборот, может быть ценно выражение

той или иной позиции представителем противоположного лагеря.

При прочих равных желательно выбирать в качестве «флагмана» цитату из работы, где она *наиболее тесно связана с основным содержанием*. Если процитировать побочное замечание из какой-то работы, а другие исследования, посвященные непосредственно этому предмету, объединить в «и многие другие», велика вероятность, что это будет воспринято в том смысле, что эти «многие другие» произведения вы не читали, а просто воспользовались встреченной где-то ссылкой. Если же положения (или цитата), на которые вы сослались, является смысловым центром выбранной для цитирования работы или близка к этому центру, то, в первую очередь, это гарантирует вас от ошибки в ее интерпретации – намного сложнее ошибочно понять главную мысль работы, чем побочное замечание. И с другой стороны, такой выбор подлежит гораздо менее основательному обоснованию, кроме каких-то довольно специфических случаев.

Таким специфическим случаем является цитирование положений, *противоречащих научной парадигме*, к которой относится сам исследователь или, когда речь идет о начинающем исследователе, – его научный руководитель или кафедра. Такие случаи, если честно признаться, в абсолютном большинстве связаны с невнимательностью и «сумбурным» цитированием. Исследователь знает, что надо «ввести понятие», но ему кажется, что, вообще говоря, «и так понятно, что это такое», поэтому он берет первый пришедший в голову источник, где он видел определение этого понятия, и использует цитату оттуда. Разумеется, делать так неправильно. Нет смысла подробно останавливаться на этом снова, так как в основном это касается цитирования именно определений, а им, в свою очередь, была уже посвящена отдельная тема, в которой мы выяснили, что выбирать нужно то определение, которое вам понятно, с которым вы согласны и которое продуктивно, то есть что-то дает вашему исследованию.

Того же принципа следует придерживаться и в любом другом цитировании – убедитесь, что вы точно понимаете то,

что цитируете, причем не только сам цитируемый отрывок, но более широкий контекст и позицию автора в целом, – это позволит избежать неуместного использования цитат, выглядящего всегда крайне несолидно.

В целом рекомендация может звучать так: сформулируйте, почему выбрали именно эту цитату, сначала *для себя*, а потом проанализируйте, веская ли это причина и как ее лучше выразить в тексте.

Особняком стоят случаи, когда важно, «кто первый начал». Исследователь, особенно начинающий, подтверждающий свою квалификацию, создаст о себе очень хорошее впечатление – добросовестного и эрудированного ученого, – если покажет владение такими понятиями, как «основоположник», «было впервые сформулировано» и «заложил основы». Однако в такой молодой научной сфере, как защита информации, находящейся в общем-то в стадии становления как науки, для владения такими сведениями нельзя заглянуть в справочник или словарь, что усложняет задачу. В таких условиях, чтобы блеснуть историко-научной перспективой, исследователю действительно нужно много читать и уметь устанавливать связи между разными исследованиями, анализируя источники взглядов авторов и их хронологию. В тех случаях, когда исследователю не нравится заниматься накоплением такого багажа, лучше постараться построить изложение так, чтобы обойти эти тонкие моменты, потому что подобные ошибки, относясь к типу фактических, довольно сложно чем-то убедительно компенсировать.

Задание на дом: написать реферат по книгам А. А. Ивина и Ф. А. Кузина на тему «Гипотеза, теория, изобретение, открытие – границы и области определения понятий». Объем – 1–2 страницы.

ОФОРМЛЕНИЕ ССЫЛОК

Ссылки помещаются в конце статьи после слов
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- В список включаются только те работы, которые упоминаются или цитируются в статье (то есть на включенную в список работу обязательно должна быть ссылка в тексте статьи).
- Список нумерованный, и работы размещены в нем не по алфавиту, а по мере появления ссылок на них в статье.

Пример:

Как было показано в предыдущих публикациях автора, таких как [1], древнюю тайнопись следует считать феноменом, относящимся к сфере языкового сознания определенной части носителей естественного человеческого языка.

В настоящем исследовании использовались переведенные на русский язык сочинения античных авторов: «История» Геродота (ок. 484 – 425 г. до н. э.) [2], «О перенесении осад» Энея Тактика (IV в. до н. э.) [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Запечников С. В.* Из истории криптографии: тайнопись как явление древнерусского литературного языка (XII–XVII в.) // Безопасность информационных технологий. 2011. № 2. С. 116–123.
2. *Геродот*. История / Пер. и примеч. Г. А. Стратановского; Под общ. ред. С. Л. Утченко [Электронный ресурс]. URL: http://ancientrome.ru/antlitr/herodot/index.htm (дата обращения: 03.02.2014).
3. *Эней Тактик*. О перенесении осад / Пер., ст. и прим. В. Ф. Беляева // Военное искусство античности. М.: Эксмо, 2003. С. 38–106.

- При прямом цитировании (если приводится фрагмент в кавычках) необходимо в тексте статьи указать не только

номер работы, но и страницу, на которой находятся цитируемые слова: [1. С. 34].

- При ссылках на несколько работ сразу номера указываются через тире: [1–6].

ОФОРМЛЕНИЕ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ

Правила общие и для работ на русском языке, и для работ на иностранных языках *(обратите внимание: при указании страниц в работах на английском ставится* ***P./p.****, в работах на немецком* ***S./s.*** *и т. д.).*

- Монографии, сборники, словари и т. п. оформляются следующим образом: автор/авторы (курсивом; фамилия и инициалы), название (без кавычек), город издания, издательство (только название, без кавычек; если издательство называется *книжный дом*, *ООО* и т. д. – это указывается, а название дается в кавычках), год издания, количество страниц.

Терехина А. Ю. Анализ данных методами многомерного шкалирования. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1986. – 168 с.

Комиссаров В. Н. Лингвистика перевода. М.: Книжный дом «Либроком», 2009. – 312 с.

Salomon D. Data privacy and security. Springer New York, 2003. – 100 p.

Lidl R., Niederreiter H. Finite fields. Cambridge University Press, 1984. – 230 p.

Stinson R. L. Cryptography Theory and Practice. 3rd ed. CRC Press, 2006. – 611 p.

Политехнический словарь. 3-е изд. М.: Советская Энциклопедия, 1989. – 540 с.

Обратите внимание на выделенные знаки препинания!

- Диссертации и авторефераты оформляются следующим образом: автор/авторы (курсивом; фамилия и инициалы), название (без кавычек), город и год издания, количество страниц.

Леошкевич И. О. Система выявления недекларированных возможностей программного обеспечения, влекущих нарушение конфиденциальности информации. Дисс. ... канд. техн. наук. М., 2011. – 180 с.

Подколзин В. В. Моделирование систем на основе односторонних рюкзачных отображений. АКД. М., 2011. – 24 с.

- Статьи в периодике (газетах, журналах, периодических сборниках, словарях, энциклопедиях) оформляются следующим образом: автор/авторы (курсивом; фамилия и инициалы), название (без кавычек), две косые //, название периодического издания (без кавычек, без слова *журнал* и т. п.), год (для журналов, газет) или город и год издания (для энциклопедий, словарей, периодических сборников), номер или выпуск, страницы статьи.

Сен Н. Д., *Котляров В. П., Григорьев Я. Ю.* Применение оценок на основе энтропии для сравнения криптостойкости алгоритмов шифрования // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 2. С. 105–106.

Ткаченко Н. О. О разработке механизма мандатного управления доступом в СУБД MySQL на основе SELinux // Прикладная дискретная математика. Приложение. 2012. Вып. 5. С. 77–79.

Wu Y., Zhou Y., Saveriades G. at al. Local Shannon entropy measure with statistical tests for image randomness // Information Sciences: an International Journal. 2013. Vol. 222. P. 323–342.

Аржанов Ю. Н. Илия // Православная энциклопедия. М., 2010. Т. 22. С. 236–259.

При наличии нескольких авторов указывают первых трех-четырех авторов и далее ставят *и др.* или *at al.*

- Если статья разбита на 2 номера, это оформляется так:

Казарин О. В. Интерактивная проверяемая схема разделения секрета // Безопасность информационных технологий. 2010. № 3. С. 35–40; 2011. № 1. С. 61–67.

- Статьи в сборниках (в том числе трудах конференций) оформляются следующим образом: автор/авторы (курсивом; фамилия и инициалы), название (без кавычек), две косые (//), название сборника (без кавычек), город издания, издательство (только название, без кавычек), год издания, страницы статьи.

Котенко И. В., Чечулин А. А. Аналитическое моделирование атак для управления информацией и событиями безопасности // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT». Россия, Краснодарский край, пос. Дивноморское. 2–9 сентября 2012 г. М.: Физматлит, 2012. С. 385–391.

Эней Тактик. О перенесении осад / Пер., ст. и прим. В. Ф. Беляева // Военное искусство античности. М.: Эксмо, 2003. С. 38–106.

Woeginger G. J. Exact algorithms for NP-hard problems: a survey // Combinatorial Optimization. Springer-Verlag Berlin, 2003. P. 185–207.

Vinod P., Jain H., Golecha Y. K. MEDUSA: MEtamorphic malware Dynamic analysis Using Signature from API // Proceedings of the 3rd International conference on security of information and networks. NY: ACM New York, 2010. P. 115–127.

Обратите внимание: указываются страницы статьи, а не количество страниц сборника!

- Если статья еще не вышла из печати, указываются только: автор/авторы (курсивом), название (без кавычек), две косые (//), название журнала или сборника (без кавычек), слова *в печати* в скобках.

Слипенчук П. В. Простое построение совершенных стегосистем на основе различных ошибок в помехоустойчивых кодах в модели трех каналов // Вестник МГТУ. Специальный выпуск (в печати).

- Нормативные документы оформляются, как сборники, – с указанием города издания, издательства, года издания, количества страниц. (Если берется с сайта, см. ниже.)

ГОСТ Р ИСО/МЭК 7816-4-2004. Информационная технология. Карты идентификационные. Карты на интегральных схемах с контактами. Часть 4. Межотраслевые команды для обмена. М.: Изд-во стандартов, 2005. – 78 с.

- Патенты и свидетельства:

Кулик С. Д., Кондаков А. А., Зырянова О. В. Свидетельство на программу Российской Федерации № 2012615520 «Specialsimplesolverofpuzzles v.1.0» (S-S-S-Puz). Заявка № 2012613177; Заяв. 24.04.2012; Зарегистр. 19.06.2012. (РОСПАТЕНТ).

Кулик С. Д. Патент на изобретение № 2208837, Российская Федерация (RU), кл. МПК^{7}G06 F17/30. Устройство для имитационного моделирования значений функции выхода АФИПС криминалистического назначения. Заявка № 2001129139/09; Заяв. 30.10.2001; Зарегистр. 20.07.2003; Приоритет от 30.10.2001; Опубл. 20.07.2003; Бюл. № 20. Ч. 3. С. 752–753. (РОСПАТЕНТ).

Кулик С. Д. Патент на полезную модель № 23701, Российская Федерация (RU), кл. МПК^{7}G07 D7/00. Устройство для объединения уголовных дел, определения фальшивых банкнот, ценных бумаг и документов при раскрытии преступлений в криминалистике. Заявка № 2001134790/20;

Заяв. 26.12.2001; Зарегистр. 27.06.2002; Приоритет от 26.12.2001; Опубл. бюл. № 18. Ч. 2. – 399 с. (РОСПАТЕНТ).

- Ссылки на электронные ресурсы. Указывается название работы, опубликованной в Интернете, или ресурса; далее **[Электронный ресурс]**; затем **URL:** и после этого сайт и дата обращения к нему.

Примеры:

Совещание по вопросу разработки профстандартов. 9 декабря 2013 г. Москва, Кремль [Электронный ресурс]. URL: http://special.kremlin.ru/transcripts/19812 (дата обращения: 12.12.2013).

Документы ФГУП «НПП «Гамма»: Профессиональный стандарт специалиста по информационной безопасности [Электронный ресурс]. URL: http://www.nppgamma.ru/documents/ (дата обращения: 12.12.2013).

Сайт проекта CuckooSandbox [Электронный ресурс]. URL: http://cuckoobox.org (дата обращения: 15.08.2013).

Лозовюк А. Заоблачные вычисления: CloudComputing на пальцах. Медиакомпания «Gameland». 2009 [Электронный ресурс]. URL: http://www.xakep.ru/post/49024 (дата обращения: 12.12.2013).

Brodkin J. Seven Cloud Computing Security Risks. 2008 [Электронный ресурс]. URL: http://www.gartner.com/DisplayDocument?id=685308 (дата обращения: 12.12.2013).

Обратите внимание: просто сайт не указывается, необходимо указать название ресурса.

ССЫЛКИ НА СТАТЬИ В ЭНЦИКЛОПЕДИЯХ/СЛОВАРЯХ

- Если статьи в энциклопедии авторские, то ссылка, как на обычную статью в сборнике:

Аржанов Ю. Н. Илия // Православная энциклопедия. М., 2010. Т. 22. С. 236–259.

- Если статьи не авторские, то ссылка просто на энциклопедию/словарь (при этом страницы указываются в тексте статьи [1. С. 214]):

1. Словарь русского языка XI–XVII вв. М., 1975. Вып. 1.

Требования к оформлению ссылок и списков литературы в различных изданиях могут по различным причинам различаться в рамках вариантов, указанных в ГОСТ. Целесообразно заранее ознакомиться с требованиями к оформлению статей на официальном сайте журнала или сборника. Требования к оформлению учебных работ, как правило, выдаются на кафедре.

ТЕМА 7. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ. ГИПОТЕЗА И ЕЕ ПРОВЕРКА

При рассмотрении эксперимента как вида обоснования уже шла речь о том, что, так или иначе, экспериментальную часть включает в себя любое научное исследование, даже такое, которое мало ассоциируется с какими-то «опытами». Экспериментом является, по сути, любая проверка своей гипотезы практикой. Без нее гипотеза выглядит шаткой, даже если обоснована достаточно убедительным рассуждением и ссылками.

В учебных и квалификационных работах (УИР, НИР, диплом, диссертация) экспериментальную часть иногда называют «практической», и этот нюанс зачастую оказывает критически негативное влияние на понимание исследователем сущности этой – важнейшей – части исследования (исследования и как результата (текста), и как процесса).

В рамках этого курса не представляется возможным в хоть сколь-нибудь полной мере научить планировать, проводить и описывать эксперимент, однако выделение опорных точек самоконтроля позволит исследователю увидеть, каких именно знаний и навыков для корректного экспериментирования не хватает лично ему, и восполнить эти пробелы в работе с научным руководителем.

В первую очередь необходимо усвоить, почему важно, что часть все-таки не практическая, а именно экспериментальная, и чем опасно заблуждение на этот счет.

Чем отличается результат эксперимента от практического результата

Наиболее распространенная ошибка, которую совершает начинающий исследователь при работе над НИР или дипломом, заключается в том, что желаемым результатом он предполагает решение какой-то инженерной задачи. Решение инженерной задачи – это очень важный результат, и не всегда он достигается тривиальным путем, однако это результат не научной, а инженерной деятельности.

Целью научного исследования обязательно должно быть *установление истины*.

Задачей научного исследования обязательно должно быть *описание мира, выявление его объективных закономерностей*.

Эти общие требования касаются каждого конкретного исследования, в том числе НИР и дипломной работы, в той же мере, что и научной деятельности в целом.

Одно из следствий из этих основополагающих свойств научного мы обсуждали в отношении формулировки во введении работы темы, проблемы, актуальности и новизны исследования[1], рассуждая о том, что практический результат научной работы обязательно связан с решением проблемы путем изменения некоторой формальной модели.

Результат решения инженерной задачи может быть *научным* в том случае, если эта задача связана с некоторой *научной проблемой*, а ее решение является решением (или шагом на пути к решению) этой научной проблемы. Научная проблема, напомним, – это некоторое противоречие, тупик, разрешение которого невозможно без выхода за рамки существующей системы (изменения системы) и без разрешения которого невозможно решение задачи.

[1] См. раздел «Тема 6. Работа исследователя и исследовательская работа…», с. 372–373.

Иными словами, если инженерная задача не решается известными инженерными приемами, то для ее решения требуется научное исследование, и решение такой инженерной задачи, будучи правильно полученным и корректно описанным, является научным и заслуживает высокую оценку.

Но даже корректные формулировки во введении, к сожалению, не гарантируют того, что исследователь не забудет о цели поиска истины в практической части своей работы.

Проблема в том, что *представить* практический результат как научный можно далеко не всегда. Для этого необходимо, чтобы научным был и *ход его получения*.

Теоретически возможна ситуация, когда правильная форма придается работе софистическими (используем самое мягкое определение) способами, однако студенту следует отдавать себе отчет, что в опыте научной работы большинство преподавателей его значительно превосходят и такие меры никого не обманут. Работа, которой лишь придается форма научного исследования, не получит высокой оценки, поэтому рекомендации о том, как придать инженерной работе вид научной, тут даваться не будут.

Чтобы продемонстрировать, что ход работы соответствовал требованиям к научному исследованию, его (ход работы) нужно в тексте работы демонстрировать. Это касается не только экспериментальной части, но ее особенно.

Все это звучит вполне понятно в теории, но на практике мало приближает к пониманию разницы между «практическим» и «экспериментальным» и к тому, как проводить исследование, чтобы в нем точно была научная составляющая.

Постановка вопроса

Эксперимент отличается от программирования (проектирования, разработки и тому подобных важных инженерных действий, которые вполне могут осуществляться и в ходе эксперимента, и вне его) тем, что по содержанию это всегда поиск ответа на некоторый вопрос.

Планируя практическую часть своей работы, нужно ответить себе: «на какой вопрос я ищу ответ».

То, каким образом будет сформулирован вопрос, окажет очень существенное влияние на все стороны экспериментальной части исследования. Это утверждение кажется довольно абстрактным, однако его можно очень наглядно проиллюстрировать примером, приведенным в книге Пойя «Математика и правдоподобные рассуждения» [Пойя, 1975].

Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. С. 268–269.

Об индуктивном исследовании в математике и в физических науках.

В § 6 было указано различие между «математической ситуацией» и «физической ситуацией», которое кажется важным с точки зрения правдоподобных рассуждений. По-видимому, существуют и другие различия этого рода, и одно из них будет рассмотрено здесь.

Кулон открыл, что сила взаимодействия между электрическими зарядами изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния. Он подкрепил этот закон обратного квадрата прямыми экспериментами с крутильными весами. Эксперименты Кулона были деликатными, и расхождение между его теоретическими и экспериментальными числами было значительным. Мы не можем удержаться от подозрения, что без мощной аналогии закона Ньютона (закона обратного квадрата в гравитационном притяжении) ни сам Кулон, ни его современники не рассматривали бы его эксперименты с крутильными весами как окончательные.

Кавендиш открыл закон обратного квадрата в электрическом притяжении и отталкивании независимо от Кулона. (Исследования Кавендиша не были опубликованы при его жизни, и приоритет Кулона неоспорим.) Однако Кавендиш, чтобы подкрепить этот закон, придумал более тонкий эксперимент. Нам нет необходимости входить в детали его метода, только одна особенность которого здесь существенна: Кавендиш учитывает возможность того, что сила пропорциональна не r^{-2} (r – расстояние между электрическими зарядами), а общее, r^{-a}, где a – некоторая

положительная постоянная. Его эксперимент показал, что число a – 2 по абсолютной величине не может превосходить некоторой дроби.

Экспериментальное исследование Кулона довольно похоже на индуктивное исследование в математике: он сопоставляет частные следствия из предполагаемого физического закона с наблюдениями, как математик сопоставлял бы с наблюдениями частные следствия из предполагаемого теоретико-числового закона. И здесь и там важную роль в выборе предполагаемого закона может играть аналогия. Однако экспериментальное исследование Кавендиша имеет иной характер; он рассматривает не один лишь предполагаемый закон (закон r^{-2}), а несколько предполагаемых законов (законы r^{-a}). Эти законы различны (различные законы электрического притяжения соответствуют различным значениям параметра a), но они родственны, они принадлежат одному «семейству» законов. Кавендиш сопоставляет с наблюдениями все семейство законов и пытается подобрать закон, который лучше всего с ними согласуется.

Это – наиболее характерное различие между двумя исследованиями: первое направлено на одно предположение, второе – на *семейство* предположений. Первое сравнивает наблюдения со следствиями одного предположения, второе одновременно сравнивает их со следствиями нескольких предположений. Первое пытается на основании такого сравнения судить, приемлемо ли предлагаемое предположение или нет, второе пытается отыскать наиболее приемлемое (или наименее неприемлемое) предположение. Первый вид индуктивного исследования широко практикуется в математике и не является необычным в физических науках. Второй вид индуктивного исследования

широко практикуется в физических науках, но мы очень редко встречаемся с ним в математике.

Фактически, наиболее типичный вид физического эксперимента имеет целью измерение какой-нибудь физической константы, определение ее значения, как эксперимент Кавендиша имел целью определение значения показателя степени *a*. В математике встречаются такие изыскания, которые мы могли бы рассматривать как индуктивное исследование, имеющее целью определение какой-нибудь математической константы, но такие исследования являются совершенно исключительными[2]. <…>

[2] Между прочим, эксперимент Кавендиша имел даже более широкую цель: он стремился показать, что закон r^{-2} более приемлем, чем любой другой закон $\varphi(r)$ без ограничения, что функция $\varphi(r)$ имеет вид r^{-a}; см. Максвелл, там же, стр. 76–82.

Эксперимент, однако, не должен представлять собой прямой поиск ответа. Относительно поставленного вопроса должен быть *предположен ответ* – сформулирована гипотеза. Более того, этот предполагаемый ответ должен быть предположен *на каких-то основаниях*, а не просто так.

Далее рассмотрим общий ход работы над экспериментальной частью исследования.

Итак, в основе эксперимента лежит гипотеза, которую исследователь экспериментально проверяет.

Гипотеза

По форме эксперимент должен представлять собой проверку гипотезы. Вспомним, в каком контексте мы ранее касались вопросов, связанных с экспериментом, – это было в теме «Обоснования». С помощью эксперимента мы что-то *обосновываем*.

Это вполне достаточный критерий для самопроверки – если вы можете сформулировать вопрос, на который вам нужен ответ, и, если вы можете сформулировать гипотезу, которую вы проверяете в своей экспериментальной части, значит, она (экспериментальная часть) может претендовать на научность.

Безусловно, вопрос при этом должен иметь значимость, а гипотеза должна соответствовать требованиям научности, но вопросы добросовестности исследования мы в этом курсе все-таки оставляем за скобками, предполагая ответы на них самими собой разумеющимися.

Важно, что эмпирическое обоснование – хоть и наиболее весомое научное доказательство, но не единственно возможное, и крайне желательно, чтобы оно не было в работе единственным.

Гипотеза, получившая подтверждение разными способами, выглядит намного обоснованнее (правдоподобнее), чем гипотеза, подтвержденная только одним способом, и чем дальше друг от друга подтверждающие гипотезу «улики», тем тверже она «стоит на ногах», тем выше ее *объективность* (напомним, что это независимость результата от

исследователя, от конкретных экземпляров объекта и конкретных методов исследования).

Но если разнообразие доводов в пользу гипотезы является лишь желательным, то обязательным для научно-исследовательской, в том числе дипломной, работы требованием является обоснованность гипотезы.

Она не должна быть выдвинута априорно, просто потому, что так посоветовал научный руководитель. Даже если фактически гипотеза сформулирована не самостоятельно, а именно научным руководителем или при его деятельном участии, исследователь должен обнаружить и сформулировать причины, по которым ее выдвижение рационально, не абсурдно и не случайно.

Зачастую в учебных НИР гипотезу исследователь не выдвигает, а получает в составе задачи – задача НИР, как правило, и состоит именно в проверке гипотезы, и, если научный руководитель «доверяет» начинающему исследователю выдвинуть или хотя бы сформулировать гипотезу самостоятельно, это говорит о его высоких ожиданиях от этого студента. В дипломе же гипотеза должна быть самостоятельно порождена в ходе собственного научного творчества. Рецепта порождения гипотез не может быть, это процесс индивидуальный, однако крайне любопытные рекомендации по построению работы, которое сможет сделать поиск «отгадки» более эффективным, можно почерпнуть из книги Пойя «Как решать задачу» [Пойя, 1959], например, во фрагменте, приведенном в конце этой темы, или из книги «Математика и правдоподобные рассуждения» [Пойя, 1975], в том числе во фрагменте, приведенном в теме «Понятия “метод”, “методика”, “методология”, “направление”» (с этими двумя книгами, как и с большинством источников, фрагментарно представленных в этом курсе, настоятельно рекомендуется ознакомиться целиком, а не во фрагментах; приводимые фрагменты призваны дать общее представление и возможность оценить полезность этих классических произведений для начинающего исследователя).

Альтернативная позиция – Пуанкаре – звучит более привлекательно, поскольку кажется, что она не требует труда:

«Пуанкаре предлагает очень интересную схему математического творчества. Он связывает его с делением человеческой психики на сознательную и бессознательную части. Процесс начинается с сознательных усилий, направленных на решение некоторой проблемы. Эти усилия повышают активность бессознательной части психики. Там появляется множество новых комбинаций математических объектов – как бы возможных фрагментов решения. Они возникают в громадном количестве и с колоссальной скоростью. Сейчас мы могли бы сравнить эту фазу с работой грандиозного компьютера. Но подавляющая часть этих комбинаций бесполезна для решения проблем. Они не достигают сознания, только очень небольшая их часть рассматривается сознанием. Чтобы достигнуть сознания, они проходят отбор, основанный на эстетическом принципе. Некий эстетический барьер позволяет лишь очень небольшому их числу проникнуть в сознание. Они появляются там как готовая идея решения, причем это сопровождается очень сильным субъективным чувством уверенности в правильности идеи. Дальше остается лишь техническая работа по осуществлению найденного решения» [28]. Однако не стоит заблуждаться, всякого рода озарения (Пойя называет их блестящими догадками) оказываются ценными только тогда, когда то самое «сознательное усилие» было приложено с полной самоотдачей, а в остальных случаях – либо вовсе не возникают, либо разбиваются первой же критической проверкой.

Объединяет все гипотезы о механизмах порождения гипотез главное – гипотеза не выводима из проблемы напрямую путем дедуктивного рассуждения. Часто применяемый начинающими исследователями прием – переформулировать гипотезу, чтобы получить проблему, или переформулировать проблему, чтобы получить гипотезу (смотря что из двух «дано»), – ошибочен.

Для того чтобы рассматриваться в качестве целесообразной к проверке, гипотеза должна в первую очередь иметь непосредственное отношение к проблеме исследования.

Их связь должна явно прослеживаться, а не угадываться, в том числе и по тексту работы.

В учебных работах чаще всего проверка гипотезы является основной задачей исследования, и гипотеза в рамках работы высказывается одна. А по второстепенным вопросам если и высказываются предположения, то они остаются без эмпирических проверок. Во «взрослом» исследовании может быть и иначе, но и для учебной работы допустима ситуация, когда экспериментальная часть «работает» не непосредственно на главный вывод, а включена в какую-то более сложную цепочку. Такие случаи требуют очень внимательного выстраивания логики исследования, чтобы оно не рассыпалось на части, однако во всем остальном работа над экспериментальной частью при этом не будет ничем принципиально отличаться от описанного ниже.

Проработка гипотезы

Остальные требования к гипотезе так или иначе сведутся к требованиям научности, и в рамках самоконтроля крайне желательно проверить свою гипотезу на весь список выявленных в начале курса признаков.

Остановимся коротко на тех, которые должны явно быть отражены в тексте работы.

Теоретичность гипотезы

Гипотеза должна быть сформулирована в виде некоторого *теоретического* положения. Она должна быть сформулирована в терминах и понятиях научной парадигмы, в рамках которой действует исследователь, и иметь вид полноценного логически связного построения.

Совместимость гипотезы

Сформулированная гипотеза должна быть соотнесена – причем именно в тексте, явным образом – с той теоретической базой, которая представлена в реферативной части работы. Напомним, что требование *совместимости* предполагает не только соответствие той или иной теории, но и

противопоставленность им. Чем более смело и радикально сформулирована гипотеза, тем более важно ясно позиционировать ее относительно рассмотренного теоретического материала.

Помимо уже упоминавшихся предпосылок, которые, безусловно, делают наглядной соотнесенность гипотезы с современным состоянием научного знания на эту тему, полезно сформулировать ее *связи* с теми аспектами теории, которые напрямую не имеют отношения к проверяемым положениям, но показывают место этих положений в системном описании изучаемого предмета. Для читающего исследование это повышает правдоподобность гипотезы, а для проводящего исследование это поможет не упустить факторы, которые необходимо проверить или, напротив, на которые можно опереться в постановке проверок.

За счет этих связей исследователю может удаться вспомнить эксперименты или иного рода доказательства (успешные реализации, прошедшие проверку временем, доказательства на математических моделях и т. п.) сходных или смежных гипотез и применить эти знания в своей работе.

Системность гипотезы

И наконец, самое главное – гипотеза должна быть сформулирована *системно*. Тут очень важно понимать, что речь идет именно о системности самой гипотезы, а не ее проверки или предмета, в отношении которого она выдвигается. Сама гипотеза тоже должна быть системной, то есть должны быть перечислены все сущности, которые в ней фигурируют, между ними установлены связи и обозначены границы гипотезы.

Разумеется, если сделать все это буквально именно так, то гипотеза, весьма вероятно, будет выглядеть несколько механистично: перечни, связи… Конечно, далеко не всегда делают именно так, обычно формулировка гипотезы представляет собой изящное и яркое построение, которое должно убеждать еще и своей красотой. Однако для себя – на этапе проработки гипотезы – целесообразно собрать ее скелет по косточкам, а потом уже создать яркую формулировку.

Это можно сделать в виде буквального списка примерно такого вида:

«Я утверждаю, что
- …
- …
- …
Эти положения связаны следующим образом: …
Это утверждение распространяется на …
За границами рассмотрения оставляем объекты … и связи …».

Затем, разумеется, гипотезу следует переформулировать, никаких «я утверждаю» в тексте научного исследования быть не должно.

Нормально, если гипотеза касается только одного положения, особенно гипотеза в учебной работе. Однако не нормально, если положений несколько, а сформулировать, как они связаны, – не удается. Это сигнал о том, что гипотеза пока не сложилась.

Исследователь должен видеть системность (или несистемность, что плохо) своей гипотезы в первую очередь *сам*. Однако чем более системной получится и конечная формулировка, тем более выигрышное впечатление она будет производить.

Подытожим так: системно сформулированная гипотеза – это такая, из формулировки которой понятен весь комплекс ее положений, их взаимосвязи и границы, в пределах которых гипотеза предполагается верной. Если формулировка гипотезы требует дополнений или существенных уточнений, без которых невозможно спланировать эксперимент для ее проверки, гипотезу следует переформулировать.

Крайне полезный набор требований к гипотезам предложен в уже упоминавшейся книге Коэна и Нагеля [Коэн, Нагель].

ŧɚɩə ɗ. ¢., ɸRɣaɗɨ ɟ. ȮŸaɐaəɔa Ɏ ɗɚɣɔɖɟ ɔ əRɟɣəɧɛ ɘaɞɚɐ.
Ł. 273ð283.

§ 4. Формальные условия для гипотез

1. Во-первых, гипотеза должна формулироваться таким образом, чтобы из нее можно было выводить следствия, а также чтобы всегда можно было определить, объясняет она или нет рассматриваемые факты. Данное условие может быть рассмотрено с двух точек зрения.

a. Зачастую происходит так, что гипотеза не может быть верифицирована непосредственным образом. Большинство наиболее ценных научных гипотез имеет именно такую природу. Мы не можем установить ни при каком непосредственном наблюдении того, что отношение притяжения между двумя телами является обратным квадрату расстояния между ними. Поэтому необходимо постулировать гипотезу так, чтобы ее следствия можно было с ясностью проследить при помощи методов логики и математики, а также подвергнуть экспериментальному подтверждению. Так, гипотезу о том, что Солнце и Марс притягивают друг друга прямо пропорционально квадрату своей массы, но обратно пропорционально квадрату расстояния между ними, нельзя непосредственным образом подтвердить при помощи наблюдения. Однако набор следствий из этой гипотезы о том, что Марс вращается по эллиптической орбите вокруг Солнца и что вследствие этого при различных исходных условиях он в разное время может быть виден в различных точках этой орбиты, вполне может быть верифицирован.

b. Гипотезу нельзя подвергнуть экспериментальной проверке до тех пор, пока каждый из составных элементов гипотезы не будет обозначать определенную

экспериментальную процедуру. Гипотеза о том, что Вселенная сжимается так, что все длины уменьшаются в одинаковой пропорции, является эмпирически бессмысленной, если не обладает какими-либо верифицируемыми следствиями. Сходным образом гипотеза о том, что вера в Провидение в большей степени способствует праведной жизни, чем забота о ближнем, не может обладать верифицируемыми следствиями до тех пор, пока мы не сможем соотнести меры, присутствующие в экспериментальном процессе, с силами, весомость которых описывается в данной гипотезе.

2. Второе, вполне очевидное условие, которое должна выполнять гипотеза, заключается в том, что она должна предлагать ответ на проблему, изначально ее породившую. Так, теория о том, что свободно падающие тела падают с постоянным ускорением, объясняет известное поведение тел, находящихся в непосредственной близости от поверхности Земли.

Тем не менее, было бы серьезной ошибкой предполагать, что ложные гипотезы, чьи логические следствия не полностью соответствуют наблюдаемым фактам, всегда являются бесполезными. Ложная гипотеза может привлечь наше внимание к ранее не подозревавшимся фактам или отношениям между фактами и тем самым усилить основания в поддержку других теорий. История науки наполнена примерами гипотез, которые были отброшены, но при этом оказались полезными. Теория флогистона в химии, теория теплоты или особой материи тепла, корпускулярная теория света, смоляная теория электричества, теория общественного договора, ассоциативная теория в психологии – все это примеры таких полезных гипотез. Более очевидную иллюстрацию представляет следующий пример. Древние вавилоняне имели множество ложных идей относительно волшебных

свойств числа семь. Однако в силу своего убеждения о том, что количество видимых небесных тел, вращающихся вокруг неподвижных звезд, должно было равняться семи, они стали пристально всматриваться в небо и обнаружили редко доступную невооруженному глазу планету Меркурий. «Правильно использованные ложные гипотезы породили больше полезных следствий, чем просто ненаправленное наблюдение», – замечал английский логик де Морган.

3. Существует еще одно очень важное условие, которое должно соблюдаться гипотезами. Как мы видели, теория ускорения Галилея позволила ему не только объяснять то, что он уже знал, когда формулировал эту теорию, но и предсказать, что в будущем при наблюдении откроется истинность определенных суждений, которая во время формулировки предсказания не была известна и даже не подозревалась. Так, например, Галилею удалось показать, что если ускорение свободно падающего тела было постоянным, то траектория полета ядра относительно линии горизонта должна была бы представлять собой параболу. Успешные предсказания делают гипотезу верифицированной, но при этом никак не доказанной.

Обратимся к другой иллюстрации и проявим суть нашего аргумента еще четче. Представим большую сумку, которая содержит огромное число бумажных листов. На каждом из этих листов написана некоторая цифра. Допустим, что мы вытаскиваем из сумки по одному листку, не заменяя при этом его новым листком, и фиксируем изображенную на нем цифру. Так, представим, что первой извлеченной цифрой будет «3», второй – «9». После этого нам предлагают целое состояние, если мы сможем предсказать, какими будут пять следующих друг за другом цифр, начиная с сотого извлечения.

Что могли бы мы ответить на подобное предложение? Мы могли бы сказать, что, пожалуй, ни один ответ не является

лучше любого другого, поскольку мы полагаем, что цифры появляются в совершенно случайном порядке. Однако, с другой стороны, мы все же можем сформулировать гипотезу о том, что цифра, полученная при одном извлечении, не является несвязанной с цифрой, полученной при каком-то другом извлечении. Мы можем обратить внимание на порядок, в котором появляются цифры. На основании общей гипотезы о том, что такой порядок имеет место, мы можем предложить частную гипотезу, объясняющую последовательность появления цифр. Не вызывает сомнения то, что даже в случае реального отсутствия какой-либо определенной последовательности в появлении цифр мы, тем не менее, можем попробовать сформулировать закон этого появления. Делаемое нами на определенном этапе предположение о появлении цифр в некотором порядке не означает того, что на каком-то другом более позднем этапе, имея лучшие основания, мы не сможем отрицать существование такого порядка.

Примем общую гипотезу о порядке. Если так, то основной проблемой становится отыскание частного порядка. Так, каждый отдельный закон или формула, которые мы будем вводить, будут во многом зависеть от имеющегося у нас ранее знания и степени нашей осведомленности с математическими последовательностями. На основании данной осведомленности может быть усмотрена связь между появляющейся цифрой и порядковым номером извлечения. Разумеется, можно сформулировать и другие виды связи; можно предположить, что существует связь между извлекаемыми цифрами и временем их извлечения. Любой, кто знаком с алгеброй, сможет предложить несколько формул, выражающих подобный тип связи. Так, в качестве закона последовательности появления цифр мы можем предложить формулу $y_1 = 3^n$, где n –

порядковый номер извлечения, а y_1 – извлекаемая цифра. Когда $n = 1$, $y_1 = 3$; а когда $n = 2$, $y_1 = 9$. Данная гипотеза полностью учитывает все известные факты.

Однако мы знаем и другие гипотезы, которые также могут полностью учитывать все известные факты. Такими гипотезами могут быть формулы: $y_2 = 6^n - 3$; $y_3 = 3/2(n^2 + n)$; $y_4 = 2n^2 + 1$; и $y_5 = n^3/3 + 11n/3 - 1$. Несложно показать, что может быть обнаружено бесконечное число различных выражений, выполняющих эту же функцию. Все остальные гипотезы мы можем отбросить без рассмотрения, только если считаем, что обладаем определенным релевантным знанием, на основании которого рассматриваем только эти пять.

Однако являются ли данные пять формул в равной степени «удовлетворительными»? Если бы обнаружение порядка между уже извлеченными цифрами было бы условием, накладываемым на гипотезу, то, действительно, нельзя было бы отыскать причину, по которой одна из этих формул была бы более предпочтительной, чем другая. Но мы стремимся к тому, чтобы наши законы или формулы были на самом деле универсальными, т. е. выражающими неизменные отношения, существующие между цифрами. Поэтому предпочтительной гипотезой будет та, которая позволит предсказывать то, что еще не произошло, и из которой мы сможем вывести то, что уже случилось ранее, даже если бы об этом ничего не знали на момент формулировки гипотезы. Таким образом, мы можем высчитать, что если одна из этих пяти формул является универсально применимой, то при третьем извлечении мы получим: «27» – если истинна первая, «15» – если истинна вторая, «18» – если третья, «19» – если четвертая и «19» – если истинна пятая.

Крайне важно сформулировать гипотезу и ее следствия до попытки ее верифицировать, ибо, во-первых, если мы

изначально не сформулировали гипотезу, то даже не знаем, что именно мы пытаемся верифицировать. Во-вторых, если мы намеренно выбираем гипотезу так, чтобы она подтверждалась набором определенных фактов, то это еще не дает нам гарантии в том, что она будет подтверждена и другими фактами, помимо рассмотренных. В таком случае нельзя сказать, что мы обезопасили себя от ошибочного отбора и что проведенная нами «верификация» является проверкой выбранной гипотезы. Логическая функция предсказания заключается в том, чтобы позволить провести подлинную верификацию наших гипотез посредством указания на факты, которые ее подтвердят, до непосредственного момента проверки.

Таким образом, если случится так, что третьей извлеченной цифрой окажется «19», то первые три формулы будут элиминированы. Оставшимся двум формулам придется пройти проверку при еще большем количестве данных опыта. Тем не менее мы не можем быть уверенными в том, что эти формулы являются единственными, способными описывать последовательность появления цифр.

Становится очевидным, что функция верификации заключается в том, чтобы обеспечить удовлетворительные основания для элиминации некоторых или всех из рассматриваемых нами гипотез. Предположим, что у нас осталось две формулы: y_4 и y_5. Мы допустили, что каждая из них успешно предсказала третью цифру. Однако, согласно нашим требованиям, гипотеза должна предсказывать не только результат третьего извлечения, но и результаты всех последующих извлечений. Если гипотеза выражает универсальную связь, то она должна поддерживать себя и не элиминироваться ни при какой возможной попытке верификации. Однако часто случается так, что остается более

чем одна гипотеза даже после определенного конечного числа верификаций, как это, например, имеет место в нашей ситуации. Тогда мы не можем утверждать одну из таких гипотез и исключать другие. Мы можем, однако, попробовать элиминировать все релевантные альтернативы посредством повторения процесса верификации до тех пор, пока не получим какую-либо одну гипотезу. Именно стремление к достижению такого идеала руководит нашим исследованием, однако достигнуть его удается крайне редко, если вообще удается. На самом же деле мы можем считать, что нам повезло, если гипотезы, изначально рассматривавшиеся нами как релевантные, не элиминировались в ходе исследования.

Гипотеза должна быть сформулирована таким образом, чтобы ее материальные следствия были проявлены. Данное требование означает, что гипотеза должна быть доступна верификации. Может оказаться, что в момент разработки гипотезу нельзя проверить непосредственным образом в силу практических или технических сложностей. С момента выведения предсказываемого следствия до его непосредственного наступления может потребоваться длительный период времени. Так, для проверки одного из следствий теории относительности требовалось полное затмение солнца. Однако, несмотря на то что истинность гипотезы, в которой утверждаются универсальные связи, невозможно доказать, она, тем не менее, должна быть доступна верификации, даже если такую верификацию нельзя провести сразу. Как мы уже сказали, следствия гипотезы должны формулироваться в терминах определенных эмпирических операций.

Из этого следует, что гипотезу нельзя считать адекватной, если в ней не проводится явного или скрытого отграничения устанавливаемого в ней порядка связи.

Гипотеза должна быть опровержимой, если она устанавливает один порядок связи, а не другой.

Рассмотрим суждение «все люди смертны», которое является гипотезой относительно поведения людей. Является ли данная формулировка удовлетворительной? Если мы найдем человека, которому будет двести лет, то поставит ли это под сомнение универсальность смертности людей? Разумеется, стороннику теории о том, что все люди смертны, вовсе не нужно будет сомневаться в своей теории. Но что если бы мы отыскали человека, возраст которого равнялся бы возрасту струльдбруга? Сторонник теории смертности все равно мог бы утверждать, что его гипотеза вполне сочетается с существованием такого человека. Несложно заметить, что, будучи сформулированной таким образом, данную гипотезу нельзя будет опровергнуть, сколько лет бы ни было человеку, которого мы могли бы представить в качестве ее опровержения. Для того чтобы гипотеза обрела удовлетворительную форму, ее следует модифицировать так, чтобы обусловить возможность экспериментальной детерминации между этой гипотезой и какой-либо противоположной ей альтернативной гипотезой.

Если гипотеза обладает верифицируемыми следствиями, то она не может претендовать на то, что предлагаемое в ней объяснение будет удовлетворительным, что бы ни случилось. Доступные наблюдению следствия в случае истинности гипотезы не могут быть теми же самыми, что и верифицируемые следствия противоположной ей гипотезы. В нашем примере корректной модификацией гипотезы будет ее переформулировка в следующем виде: «Все люди умирают прежде, чем наступает их двухсотый день рождения». При такой формулировке гипотеза будет опровергнута при обнаружении человека, которому будет пятьсот лет.

Многие из теорий, имеющих широкую популярность, не отвечают установленным нами условиям. Так, теория, согласно которой, что бы ни случилось, все является действием Провидения или волей бессознательной самости, является неудовлетворительной с точки зрения, которую мы выработали. Эту теорию нельзя считать верифицированной, если после того как нечто случилось, мы интерпретируем это нечто как следствие Провидения или бессознательного. На самом деле данная теория столь плохо сформулирована, что мы не можем даже установить ее логические следствия и, следовательно, природу ожидаемых событий. Данная теория не позволяет нам предсказывать. Она не является верифицируемой. В этой теории не проводится различия между самой этой теорией и любой внешне противоположной ей теорией, например, теорией, согласно которой все, что происходит, является случайным.

4. Необходимо рассмотреть еще одно условие для того, чтобы гипотеза была удовлетворительной. В нашем искусственном примере мы обнаружили, что после третьего извлечения осталось две гипотезы. Каким образом осуществляется выбор между ними? В данном случае вопрос представляется несложным. Поскольку при $n = 4$ формула y_4 предсказывает цифру, отличную от цифры, предсказываемой формулой y_5, то выбор между гипотезами можно осуществить при четвертом извлечении. Но как осуществить выбор, если мы имеем дело с двумя гипотезами, у которых все следствия, которые мы можем верифицировать, являются одинаковыми?

Нам следует различать два типа случаев, когда подобное может произойти. Предположим, в первом случае два исследователя пытаются установить природу замкнутой кривой линии, следы которой они обнаружили на

определенном участке земли. Один утверждает, что эта кривая такова, что каждая точка, лежащая на ней, равноудалена от определенной точки вне кривой. Другой исследователь утверждает, что кривая такова, что площадь внутри нее является самой большой из всех площадей, которые можно охватить линией такой длины. Можно показать, что все логические следствия первой гипотезы совпадают с логическими следствиями второй гипотезы. Обе эти гипотезы, на самом деле, не различаются в логическом смысле. Если же два исследователя начнут спорить по поводу своих теорий, то этот спор будет либо о словах, либо об их эстетических предпочтениях относительно различных формулировок по сути одной и той же теории.

Может случиться и так, что две теории могут не быть логически эквивалентными, хотя и следствия, по которым они различаются, невозможно установить экспериментальным образом. Подобная ситуация может возникнуть, когда наши методы наблюдения недостаточно чувствительны для того, чтобы различить следствия, не являющиеся логически эквивалентными. Например, в теории гравитации Ньютона утверждается, что два тела притягивают друг друга обратно пропорционально квадрату расстояния между ними; в альтернативной теории может утверждаться, что притяжение является обратно пропорциональным расстоянию между ними, взятому в 2,00000008 степени. Мы не можем экспериментально установить различие между двумя этими теориями. Какое дополнительное условие может быть наложено на гипотезы, чтобы позволить нам выбирать между ними?

Мы проанализируем ответ, согласно которому предпочтительной является более простая из двух гипотез. В качестве примера мы можем предложить гелиоцентрическую теорию Коперника, описывающую видимое движение

солнца, луны и планет. Геоцентрическая теория Птолемея была сформулирована для тех же целей. Обе теории позволяют нам объяснять движение данных небесных тел, и в XVI веке ни одна из них не давала предсказаний, отличных от предсказаний другой, за исключением объяснения фаз Венеры. Было показано, что для большого числа прикладных случаев две данные теории являлись математически эквивалентными. Более того, теория Птолемея имела преимущество, заключавшееся в том, что она не расходилась со свидетельствами чувственных данных: люди «видели», как Солнце вставало на востоке и заходило на западе. С точки зрения «здравого смысла» гелиоцентрическая система явилась крайне изощренным объяснением. Тем не менее, Коперник и многие его современники нашли, что гелиоцентрическая теория является «более простой», чем древняя система Птолемея, и поэтому предпочли именно ее. В чем же заключается суть этой «простоты»? Чтобы ответить на этот вопрос, проанализируем то, что имеется в виду при употреблении термина «простота».

a. Термин «простой» часто путают с термином «знакомый». Люди, не имеющие соответствующей подготовки по физике и математике, без сомнения, посчитают, что геоцентрическая теория проще гелиоцентрической, поскольку для того чтобы принять последнюю, нам нужно пересмотреть наши привычные истолкования природы того, что мы видим собственными глазами. Теория о том, что земля является плоской, проще, чем теория о том, что она круглая, поскольку неподготовленному человеку сложнее представить себе, что антиподы на противоположной стороне шара ходят вниз головой и не падают. Однако «простота», понимаемая таким образом, не может способствовать правильному выбору

гипотезы из двух конкурирующих альтернатив. Что проще для одного, необязательно проще для другого. При таком понимании простоты абсурдно было бы утверждать, что теория относительности Эйнштейна является более простой, чем физика Ньютона.

b. Иногда утверждается, что одна гипотеза проще другой, если число независимых типов элементов в первой гипотезе меньше, чем во второй. Можно сказать, что планиметрия проще обычной геометрии, не только потому, что многие считают, что освоить первую проще, чем вторую, но и потому, что в геометрии изучаются конфигурации в трех независимых измерениях, тогда как в планиметрии – только в двух. Плоскостная проективная геометрия в этом смысле проще, чем плоскостная метрическая геометрия, поскольку в первой изучаются только те трансформации, в которых коллинеарность точек и пересечение линий в одной точке остаются инвариантными, тогда как во втором типе геометрии добавляется изучение трансформаций, оставляющих инвариантными пересечение отрезков, углов и площадей. В этом же смысле физические теории проще биологических теорий, которые, в свою очередь, проще теорий социальных наук.

Зачастую считается, что в этом смысле теория человеческого поведения, постулирующая один примитивный импульс, например, сексуальное влечение или самосохранение, является более простой, чем теория, допускающая несколько примитивных импульсов. Однако подобное верование ложно, поскольку в теориях первого типа необходимо вводить специальные допущения или делать оговорки относительно постулируемого единичного импульса, с тем чтобы описать с помощью него все наблюдаемое разнообразие типов человеческого поведения.

Поэтому о простоте одной гипотезы по сравнению с другой невозможно говорить до тех пор, пока все допущения данной гипотезы, равно как и отношения между ними, не сформулированы в явной форме.

с. Мы, таким образом, приходим к необходимости указать на еще один смысл термина «простота». Каждая из двух гипотез может упорядочивать рассматриваемую область. Однако может случиться так, что в одной теории отношения между различными фактами, присутствующими в предметной области, устанавливаются посредством систематического выведения импликаций из допущений теории. В рамках второй теории может формулироваться порядок только на основе специальных допущений, сформулированных ad hoc и не соединенных систематическим образом. Таким образом, первая теория оказывается проще второй. Простота, понимаемая в этом смысле, означает простоту системы. Гипотезе, являющейся простой в этом смысле, присущ общий характер. Таким образом, одна теория считается более простой или более общей, чем другая, если первая, в отличие от второй, способна продемонстрировать исследуемые ею связи в виде отдельных примеров отношений, рассматривающихся в ней в качестве основополагающих.

Гелиоцентрическая теория, особенно в том виде, в котором она была разработана Ньютоном, систематически является более простой, чем теория Птолемея. В терминах основополагающих идей гелиоцентрической системы мы можем объяснять смену дня и ночи, смену времен года, солнечные и лунные затмения, фазы Луны и внутренних планет, поведение гироскопа, приплюснутость земного шара у полюсов, предварение равноденствий, а также много других событий. Астрономия, построенная на теории Птолемея, также

объясняет все эти явления, однако для объяснения некоторых из них приходится вводить специальные допущения, которые систематическим образом не связаны с типом отношения, рассматриваемым в качестве основополагающего.

Высшие уровни научного исследования нацелены на отыскание систематической простоты. Если мы не будем об этом помнить, то происходящие в науке изменения будут казаться нам случайными, поскольку изменения в теории зачастую проводятся с единственной целью: отыскать некоторую более общую теорию, которая будет объяснять то, что ранее объяснялось с помощью двух не связанных друг с другом теорий. Поэтому когда говорится, что нам следует выбирать более простую теорию, то имеется в виду та теория, которая будет более простой в систематическом понимании. У нас еще будет возможность убедиться в том, что на высшем уровне научного исследования совсем непросто отыскать удовлетворительную гипотезу, объясняющую возникшее затруднение. Не каждая гипотеза сможет справиться с такой задачей. Искомое объяснение должно осуществляться в терминах теории, которая будет в ряде аспектов аналогичной теориям, которые уже применяются в других областях. Разумность данного требования очевидна, ведь его выполнение приблизит нас еще на один шаг к достижению идеала единой когерентной системы объяснений для обширной области фактов. В этом смысле общая теория относительности Эйнштейна является более простой, чем теория гравитации Ньютона, хотя математика, применяющаяся в первой, куда сложнее той, которая требуется для последней. В отличие от ньютоновской теории, в теории Эйнштейна силы не вводятся по принципу ad hoc.

Следует, однако, отметить, что на высших уровнях научного исследования довольно сложно различать степени

относительной систематической простоты двух теорий. Является ли теория волн Шредингера более простой, чем матричная теория атома Гейзенберга? В подобных случаях при выборе между двумя теориями нам остается полагаться на численно не измеряемый эстетический элемент. Однако, несмотря на то что в подобном выборе между двумя весьма общими теориями присутствует элемент случайности, степень значимости этого элемента, тем не менее, является ограниченной, т. к. избранная теория проверяется также и на соответствие остальным формальным условиям, которые мы сформулировали выше. <…>

Нет сомнений, что все эти «формальные условия» отражают не что иное, как признаки научности, однако эта иллюстрация способна, как кажется, сделать их намного более наглядными. Наглядность и продуктивность иллюстраций вообще является самой яркой чертой этой книги, благодаря которой знакомство с нею для исследователя, испытывающего затруднения с пониманием каких-либо методологических нюансов, может быть крайне полезно.

Заканчивая сводку рекомендаций по подготовке гипотезы, рассмотрим пример, соответствующий изложенным установкам.

В Новой гарвардской архитектуре компьютера микросхема памяти, в которой хранятся программы и данные, физически переводится в состояние Read Only на этапе производства, чтобы на схемотехническом уровне блокировать уязвимость, эксплуатируемую большинством атак на перехват управления, базовой особенностью которых является запись вредоносного кода в память атакуемой машины. Это позволяет предположить, что Новая гарвардская архитектура устойчива к вирусному заражению, если заражением называем запись кода вредоносной программы в долговременную память заражаемого компьютера или иное изменение программ и данных в этой памяти, вне зависимости от способа реализации этого заражения.

Проверяться экспериментально при этом будут следующие положения:

- код вредоносной программы не записывается в долговременную память и не изменяет программы и данные;
- этот результат не зависит от способов заражения, реализованных в различных вирусах (результат одинаков при любом способе заражения), и одинаков для вирусов всех типов по способу заражения.

За пределами эксперимента остается вопрос подверженности или неподверженности Новой гарвардской архитектуры воздействию вредоносного программного

обеспечения, механизм действия которого не связан с заражением.

Гипотеза будет опровергнута, если с помощью хотя бы одного из механизмов заражения, реализованных во вредоносных программах, удастся осуществить запись в долговременную память компьютера с Новой гарвардской архитектурой после перевода микросхемы памяти в состояние RO.

Формулировка гипотезы

Помимо сказанного о процессе выработки гипотезы важно понимать одну главную вещь о самой ее формулировке: ее должно быть легко обнаружить в тексте работы. Это не обязательно означает, что необходимо написать «Гипотеза:» и далее ее изложить, хотя можно и так. Однако текст точно не должен быть построен так, что фрагменты гипотезы разбросаны по тексту с ее обоснованием (или, еще хуже, проверкой), а целиком – полно и лаконично – она нигде не обнаруживается. Это резко снижает качество работы, даже если в устной дискуссии исследователь способен сформулировать гипотезу и указать ее части в тексте. Впрочем, как показывает практика, такое бывает довольно редко – текст почти в ста процентах случаев структурирован лучше, чем устная речь.

После формулировки предпосылок гипотезы и самой гипотезы можно переходить к планированию эксперимента.

Планирование эксперимента

Под планированием часто понимают в первую очередь составление последовательности действий. В отношении эксперимента это тоже очень важно, но не одно это. Не менее важно спланировать эксперимент методологически, а не только методически.

Эксперимент правильно спланирован, если он спланирован системно.

Системность эксперимента

Системность эксперимента обуславливается тем, что системно отобран материал и системно сформирован набор процедур.

Вспомним, что «системно» – это когда описаны элементы системы, связи системы и то, что за ее пределами, – среда.

Крайне важно сформулировать границы, в которых будет проверяться гипотеза, и соотнести их с ее областью действия.

Если эти границы не совпадают, нужно либо сделать так, чтобы совпали, либо, если они уже точно установлены и по каким-то причинам их нельзя выровнять, надо оценить, как это скажется на интерпретации результатов.

Если же в область проверок попало что-то, что не относится к области определения гипотезы, то это ошибка, это следует исключать.

При проверке гипотезы о взаимосвязи аппетита кошек с их окраской учитывать температуру (или какие-то другие потенциально влияющие на аппетит параметры их здоровья) – уместно, чтобы исключить искажение аппетита из-за ситуативного состояния кошки, а вот при проверке гипотезы о взаимосвязи окраса и длины когтей – это избыточно. Причем в первом случае животных, которые плохо себя чувствуют, следует, вероятно, исключить из рассмотрения, а не делать наблюдения, каков аппетит у кошек разного цвета при заболеваниях разной степени тяжести, – это размоет границы эксперимента и, скорее всего, только все запутает. А вот провести проверки с собаками разного цвета – имеет смысл, если важным для гипотезы положением является наличие такой взаимосвязи *именно у кошек*.

Способность отличить среду от лишнего – значимый показатель исследовательских качеств.

Определив границы, мы отсекаем, чего мы делать не будет – как в части ограничения объекта эксперимента, так и в части ограничения исследовательских мероприятий. Затем необходимо определить, что же делать будем – тоже в отношении и полноты проверок, и репрезентативности выборки материала.

Полнота проверок

Отдельно стоит оговорить еще один аспект системности, который может быть не вполне очевиден: необходимо педантично выявить, перечислить в тексте работы и мотивировать все те положения, которые *будут* проверяться, а также те, что проверяться по тем или причинам *не будут*. Методической (и, кстати, стратегической – так как открывает поле для критики) ошибкой будет обойти какое-то из положений потому, что оно кажется малозначительным или сложным в проверке. Все, что исследователь по какой-то причине проверять не собирается, должно быть зафиксировано и обосновано. В случае, если невозможно проверить какие-то значимые параметры гипотезы, необходимо сформулировать ограничения, которые это накладывает на интерпретацию результата экспериментальной части исследования. Вынесение даже существенных опытов за рамки работы, например, в планируемые на будущее этапы предпочтительнее, чем умолчание о том, что эти опыты необходимы.

Полнота (репрезентативность) выборки

Репрезентативность – это крайне важное понятие для научной методологии вообще, но особенно – для эксперимента. Репрезентативность выборки, взятой для работы, должна быть обоснована обязательно и как можно более надежно. Репрезентативность, как очевидно из прямого перевода, – это показательность. Это слово точнее, чем «полнота», так как практически никогда объем выборки объектов для проведения эксперимента не может быть действительно *полон*. Но при этом он должен обеспечивать системность результата эксперимента – быть таким, чтобы исчерпывать все возможные (в рамках сформулированных границ) подклассы изучаемого класса предметов. Поэтому репрезентативность выборки в общем виде демонстрируется следующим образом:

«С точки зрения параметра А (пускай это будет, например, цвет) объекты О бывают следующих типов:
- синие
- фиолетовые…

Параметр А выбран потому, что для исследуемых свойств предмета важно именно… (или же, например, потому, что это единственный параметр, по которому выделяются подклассы данного класса объектов, или потому, что только этот параметр у них постоянен на всем жизненном цикле).

В исследовании использовались по К экземпляров О каждого типа.

К является достаточным для надежности результата, потому что… (или же К является достаточным для предварительного вывода, а в дальнейшем…).

Других типов О не существует (или же на сегодняшний день не обнаружено, или О других типов находятся за рамками рассмотрения, так как…), поэтому выборка репрезентативна».

В случае, если необходимо выявить отличительные черты предмета исследования, большое значение имеет не только репрезентативность выборки экземпляров, с которыми проводится опыт, но и наличие, адекватность задаче и репрезентативность «референсной группы», с которой тот же опыт будет проводиться для сравнения.

Важно, что в область определения репрезентативности входит не только собственно полнота, но и принципиальный отбор материала. Это особенно важно для референсных групп (почему вообще кошки сравниваются с собаками, а не с тиграми), но крайне желательно обосновать и выбор основного материала, если до экспериментального раздела он еще не был обоснован, например, при формулировании актуальности.

Так, к моему собственному исследованию [29], к счастью на ранних этапах работы над ним, со стороны коллег по кафедре высказывались претензии, что использовать материал словарей неверно, надо читать тексты и делать выписки из них. Эти замечания дали результат, я написала раздел в диссертацию с обоснованием репрезентативности моего материала и статью о словарях как источнике материала для историко-лингвистического исследования [30]. Коротко главное положение доказательства сводится к тому, что количество текстов, на основании так называемых «карточек» из которых составляется словарь, несопоставимо больше, чем

может проработать за обозримое время один человек, словари составляются на основании сплошного анализа текстов – любых жанров и форм, ограничиваются только хронологические рамки, что соответствует задачам исследования, и эта работа *уже проделана и проверена* лингвистами, авторитет которых достаточен для работы по созданию словарей, поэтому выборка всех слов определенного типа (в моем случае – это слова, имеющие только формы множественного числа) из словаря заведомо репрезентативнее выборки из текстов.

В то же время я прибегла к еще одному – эмпирическому – способу обоснования репрезентативности своей выборки, который считаю нерационально затратным, однако только он мог убедить конкретную аудиторию несогласных со мной ученых – я сделала выписки всех слов этого типа из двух летописей и показала, что на этой выборке а) те же результаты по основным вопросам исследования и б) не найдено ни одного слова, не попавшего в выборку из словарей. Более того, ряд выводов на ограниченном материале, полученном из летописей, было бы сделать или невозможно вовсе, или они были бы менее убедительными.

Это, к слову, пример ситуации, когда гипотеза высказывается относительно не главного вопроса исследования, а вспомогательного (в данном случае – методологического подхода) и в то же время она проверяется экспериментально.

В завершение этого экскурса в собственную историю – еще об одной претензии к репрезентативности моего материала. Она состояла в том, что Словарь древнерусского языка XI–XIV в. (это был один из трех словарей, привлеченных мной в качестве материала) на тот момент вышел не полностью, а только, если не ошибаюсь, до буквы О. То есть моя выборка не полна.

Это прекрасно иллюстрирует сказанное о том, что полнота материала в смысле его репрезентативности не то же, что его абсолютная полнота, однако необходимость репрезентативность *обосновывать* во многом связана именно с неполнотой материала в абсолютном смысле. Куда как убедительно будет звучать

результат эксперимента, проведенного на всех без исключения объектах исследуемого класса. Однако так, как правило, не бывает.

Претензия насчет не полностью вышедшего словаря кажется вполне коррелирующей с требованием, что материал исследования должен включать все подклассы класса и безосновательный отказ от какого-то материала недопустим.

Желательно, чтобы учащиеся постарались сами сформулировать, что не так с этим замечанием, как на него правильно ответить.

Ни одно из грамматических, лексических, да и каких угодно еще свойств слова, важных для исследования его реализации категории числа или словообразовательных моделей, не связано с тем, на какую букву оно начинается. Если бы тома словаря выпускались не по алфавиту, а, например, по жанрам текстов или по тематике – отсутствие нескольких томов могло сказаться на репрезентативности материала. Но не буква, на которую начинаются слова. Эта логическая выкладка в моем случае была подкреплена тем, что в словах на недостающие буквы *из других словарей* не было обнаружено никаких важных для исследования особенностей, которые отличали бы их от остальных.

Гипотеза была выдвинута на основании рассуждения и проверена экспериментально.

Таким образом, репрезентативность моего материала была обоснована, и, несмотря на принципиальное несогласие с моим подходом, его оправданность опровергнуть не удалось.

Это важное понимание – в некоторых случаях исследователь высказывает взгляды или использует подходы, которые другим ученым, в том числе его непосредственным коллегам, могут казаться неверными. Он вправе это делать, если способен обосновать свою позицию. Если не способен – то это не позиция, а ошибка.

Ожидаемые результаты

Для каждого положения, подлежащего проверке на практике, должны быть сформулированы ожидаемые

результаты и критерии, на основании которых планируется интерпретировать *фактические* результаты.

Это обязательно нужно сделать именно *до* проведения эксперимента, сформулировать ожидаемые результаты «задним числом» на основе фактических – не только нечестно, но и нерационально, ведь, моделируя предполагаемые результаты, можно существенно сократить объем действий за счет устранения избыточных или непоказательных опытов. Кроме того, прогнозируемые результаты формулируются путем рассуждения, и, отказываясь от этого, исследователь лишает себя подтверждения своей гипотезы обоснованием другого типа.

В основе такого описания «ожидаемого» результата через фактический или даже более распространенной ошибки – отсутствия описания ожидаемых результатов вообще – не всегда лежит опасение, что результаты не сойдутся. Как правило, исследователь, наоборот, уверен в том, что, двигаясь в указанном научным руководителем направлении, он получит единственно возможный результат и все, что от него требуется, – это его, собственно, получить и затем описать. Такой способ постановки эксперимента исключает полноценный анализ результатов. Максимум, для чего он условно приемлем (то есть результат не обесценен полностью), – это выработка «подхода», то есть некоторого решения задачи без оценки его параметров (грубо называемых «оптимальностью»).

Это, к слову, не означает, что выработка подхода – всегда заведомо «слабый» результат, к которому даже применяются сниженные требования. Отнюдь нет. Выработка подхода может быть совершенно нетривиальной и даже революционной задачей, если до сих пор для решения задач данного класса не было предложено ни одного подхода. И в этом случае, однако, желательно сформулировать ожидаемые результаты, это заметно усилит убедительность гипотезы.

Проработка методики эксперимента

После формулировки предпосылок гипотезы, самой гипотезы, ее параметров, подлежащих проверке, ожидаемых

результатов и критериев оценки фактических результатов можно переходить непосредственно к методике эксперимента.

Слово «после» здесь несет довольно условный смысл, так как особенности процесса исследования иногда диктуют определенные перестановки и итеративные изменения изначально планируемых параметров, которые, конечно, невозможно оговорить в рамках краткого курса.

Во многом перечисленные параметры детерминируют и состав необходимых действий, и их последовательность, и даже инструментальную базу. Однако, безусловно, за пределами этого «во многом» остается еще очень большое количество нюансов, подлежащих тщательной проработке.

Как правило, необходимо спроектировать, обосновать и затем фактически построить какой-то стенд или иную инструментальную среду. То, в каких условиях и с применением какого оборудования (приборов, инструментов, программных средств и материалов) будет проводиться работа, должно быть обдумано заранее и убедительно мотивировано в тексте работы. Несоответствие инструментария задаче – существенная методическая ошибка, особенно важная при решении инженерных задач, так как выбор инструментария является одним из критериев оценки квалификации исполнителя.

В зависимости от содержания исследования тут могут быть важны разные особенности. Например, в случае, если требуется выявить *отличительные* черты предмета исследования, для чего, как уже упоминалось, большое значение имеет репрезентативность выборки экземпляров, с которыми проводится опыт, наличие, адекватность задаче и репрезентативность «референсной группы», с которой тот же опыт будет проводиться для сравнения, необходимо очень точно определить, сформулировать и подготовить условия, в которых производятся измерения (в широком смысле этого слова – не обязательно, конечно, это буквальные измерения чего-либо). Ведь они должны, с одной стороны, быть релевантны проверяемому параметру (вспомним опыт со слухом таракана), а с другой – корректно учитывать разницу между объектами основной и референсной групп (например,

аппетит кошек и собак, вероятно, различается довольно значительно и должен измеряться по-разному).

Для работ, результатом которых является «подход», сравнение не будет необходимой составляющей экспериментальной части, в таком исследовании достаточно продемонстрировать, что предлагаемое в принципе реализуемо. В этом случае повышенного внимания требует соответствие входных данных и условий тем, что были заявлены в гипотезе.

Например, в случае с рассмотренной выше гипотезой о том, что устройства с Новой гарвардской архитектурой будут иметь вирусный иммунитет, результат исследования будет связан с выработкой подхода. В зависимости от деталей это могла бы быть выработка подхода к обеспечению «вирусного иммунитета», могла бы быть выработка подхода к обеспечению защиты от записи в долговременную память компьютера или, как фактически было в случае, по мотивам которого составлен этот пример [31], – подход к проверке эффективности обеспечения «вирусного иммунитета» путем запрета записи в долговременную память посредством физического перевода микросхемы в режим RO. Именно так дело обстояло потому, что подходы к обеспечению «вирусного иммунитета» и к обеспечению защиты от записи уже были выработаны, и это предопределило задачу очередного этапа целого куста исследований в рамках открытого таким образом научно-технического направления: обоснование (или опровержение) этого подхода. Качественно новый подход невозможно проверить существующими средствами, требуются выработка и обоснование подходов и методик к его проверке. Именно это и стало задачей исследования.

Это долгое уточнение задачи исследования приведено для того, чтобы проиллюстрировать, какие именно детали гипотезы должны были непременно найти отражение во входных и выходных данных эксперимента.

Желательно, чтобы учащиеся постарались сами высказать предположения и определить, что необходимо было учесть возможность изменения условий, влияющих (способных

влиять) на микросхему памяти, – уровня питания, температурных условий, близких к граничным, и т. п.

Полезность эксперимента

После окончания эксперимента и получения всех экспериментальных данных по сформулированным в постановочной части критериям фактические результаты должны быть сопоставлены с ожидаемыми и сделаны соответствующие выводы, объясняющие фактические результаты и их корреляцию с ожидаемыми. Представление просто экспериментальных данных, как есть, без их анализа является не научным результатом, а только научным материалом.

В принципе, у экспериментов самого разного рода намного больше общего, чем кажется на первый взгляд, поэтому очень полезно для выработки навыков планирования и постановки эксперимента проделывать такую мысленную операцию: читать как можно более подробные описания экспериментов заведомо хороших экспериментаторов и пытаться строить аналогии – что было бы в моем эксперименте аналогично крысе? Что аналогично коридору, а что – звукоизоляционному материалу на полу коридора? При определенном усилии выяснится, что аналогии провести возможно, и на них многое про свой эксперимент станет понятнее.

Очень удобный для изучения ключевых методических особенностей эксперимент представлен в публичной лекции Ивана Николаевича Пигарёва [Пигарёв], знаменитого физиолога (знаменитого настолько, что он даже фигурирует в качестве героя в одном детективном романе [32]). Из-за того, что это публичная лекция, то есть необходимо было представить материал так, чтобы он был понятен без наличия у слушателя более широкого контекста знаний, Пигарёв вынужден был очень емко и прозрачно демонстрировать всю механику формирования гипотезы, ее проверяемых параметров, проверок и интерпретации полученных результатов, а благодаря тому, что он проделывает это по-

настоящему блестяще, материал не только понятен и убедителен, но и легко может быть использован как методический образец.

Задание учащимся: в приведенном тексте публичной лекции выделить все составляющие постановки, планирования и проведения эксперимента, которые удастся. Это можно сделать любым удобным способом – например, разметить разными цветами, задав легенду, каким цветом отмечены предпосылки, каким гипотеза, каким обоснование способа и т. д. Или сделать пометки на полях, или как-либо еще, но так, чтобы выполненную работу можно было сдать на проверку.

При наличии времени желательно обсудить выполненные задания очно, чтобы восполнить возможные пропуски.

Описание эксперимента

Требования к описанию эксперимента (экспериментальной части) в тексте научной работы продиктованы здравым смыслом. Описание эксперимента в работе должно отражать то, что он поставлен, спланирован и проведен правильно. На практике это означает, что эта часть должна быть написана очень подробно.

Обоснование всех методических приемов

Неверно оставлять за рамками конечного текста механику принятия решений, особенно решений об отклонении каких-либо вариантов (вариантов чего угодно, это зависит от предмета исследования).

То, что привело к отказу от чего-либо, сужению выбора, к тому, что из рассмотрения были исключены какие-то объекты, должно быть обязательно аргументировано в работе явно.

Все случаи, когда исследователь использовал экспериментальные данные из других исследований, а не собственные, должны быть описаны недвусмысленно. Возможность использования чужих результатов должна быть обоснована или сформулированы ограничения, которые должны быть учтены при интерпретации. При этом важно понимать, что следует обосновать не только качество чужого

результата, но и релевантность проведенного в других условиях эксперимента вашей задаче. Иными словами, необходимо сравнить условия чужого эксперимента с теми, которые характеризуют ваш эксперимент, и установить либо их соответствие, либо поправки, которые необходимо применить к результату в связи с разницей условий. Если же это отдельно взятый эксперимент, выявляющий какие-то дополнительные параметры, не находящиеся в каких-то зависимостях от того, что исследуется в вашей экспериментальной части, то, во-первых, скорее всего, это говорит о том, что не так уж этот параметр нужен для исследования, и стоит рассмотреть возможность вообще отказаться от этого материала, чтобы не останавливаться на обосновании второстепенных данных, а во-вторых, нужно убедиться, что условия, в которых эти данные получены, соответствуют задаче вашего исследования.

Например, при исследовании вопроса о том, какой из нескольких, отобранных по основным формальным признакам, брокеров наилучшим образом подходит для решения определенного класса задач, в качестве одного из параметров сравнения приводятся результаты измерений производительности, почерпнутые из литературы, а не сделанные самостоятельно. Эти данные не становятся решающим аргументом, более того, они вообще при выборе не учитываются (выбрано средство с худшим показателем), а по одному из сравниваемых брокеров и вовсе не приводятся. В то же время этот явно лишний материал дает почву для компрометации методологического подхода автора, который «сравнивает» показатели, полученные на разном оборудовании и без учета важных для оценки условий (даны сведения только о процессоре, но не о каналах, количестве абонентов, параллельности или последовательности посылок и т.д.). От исключения этих сведений работа только выиграла бы.

Описание результатов

Полнота

Неоднократно уже упоминалась ценность отрицательных результатов для научного труда. Такие результаты, в том числе если они показывают неприменимость способов или

инструментов исследования, непременно должны быть включены в текст исследования.

Возникает закономерный вопрос, где же проходит граница разумной «научной честности», ведь здравый смысл подсказывает, что где-то надо остановиться и то, что связано, например, с откровенными ошибками исследователя, в работу все-таки не помещать. Однако именно из этого желания оставить в работе «только правильное» проистекают методические ошибки описания экспериментальной части.

Вообще говоря, каждый исследователь сам отвечает себе на этот вопрос и проводит границу так, как считает правильным. Мне представляется рациональным такой способ: если проделанные действия поддаются разумному объяснению и даже после получения отрицательного результата вы можете четко объяснить, почему и для чего это было сделано и сделано именно так, – то это результат, а не ошибка и его имеет смысл описывать.

Отдельно хочется сказать о собственно «отрицательном результате» и о том, насколько и в каких случаях он приемлем.

Чтобы уяснить этот вопрос, необходимо разделить, о результате *чего* идет речь в каждом конкретном случае. Отрицательный результат исследовательской процедуры, проверки чего-либо, эксперимента – это важные научные данные, которые не должны недооцениваться, а тем более – замалчиваться. Иначе с отрицательным результатом исследования в целом: он, как правило, говорит о наличии какого-то методологического сбоя. Ведь исследование не состоит из какой-то одной процедуры, это комплексная работа по проверке гипотезы, выдвинутой на каких-то основаниях, проверенной разными способами, с опорой на различные методы и инструменты. Если все это проделано аккуратно и исследователь учитывает результаты каждого шага, корректируя в соответствии с ними свои следующие действия, то исследование в целом не может получить отрицательного результата – гипотеза будет скорректирована своевременно.

Поэтому для квалификационных работ отрицательный результат не приветствуется и является из ряда вон выходящей ситуацией, говорящей, скорее всего, о неверном планировании

исследования. В НИР отрицательный результат может быть, и он исследователя не скомпрометирует, так как может предполагаться самой постановкой задачи. В частности, если задача – проверить применимость какого-то подхода к реализации, то ответ «не применим» вполне законен и, по сути, не является отрицательным. Для реферата же он и вовсе считается нормальным: если задачей реферата было оценить степень разработанности проблемы, то качественный анализ источников вполне может показать, что проблема не разработана, предложенные подходы не снимают ее или среди исследователей нет даже минимально близкой к согласию позиции. Такой результат тоже не следует считать отрицательным – задача решена и ответ получен.

Анализ и интерпретация

В заключение этой темы несколько слов об интерпретации результатов. В первую очередь, самое главное – она должна быть. Всегда, даже если результат, как кажется исследователю, «говорит сам за себя» (часто так кажется в тех случаях, когда результатом является работающая программа или устройство – вроде бы, чего же еще). Результат обязательно должен быть в явной форме сопоставлен с ожидавшимся, проанализированы все отклонения, сделаны выводы об их причинах и целесообразности уточнений, которые позволят уменьшить нежелательные отклонения или, напротив, усилить те, что «в лучшую сторону».

В целом, чем больше выводов разного характера вы способны сделать из собственных действий, тем лучше для квалификационной работы.

Способность обозначить дальнейшие перспективы работы тоже хорошо характеризует исследователя, однако это не касается случаев, когда он что-то «не успел», у него не оказалось чего-то нужного или он «пока» сделал в том или ином смысле «плохо», но потом можно улучшить.

Все эти обстоятельства обнаруживают методические ошибки в постановке экспериментальной части – исследователь неверно оценил время и спланировал работу, неверно выбрал инструментарий (раз нужного в результате у

него не оказалось, а замену он подобрать не смог), неправильно сформулировал задачу (раз сам потом сделал замечания к полученному решению). Оправданием для такого рода обстоятельств в некоторых (но не во всех) случаях может послужить детальное описание эксперимента, из которого будут очевидны причины отступлений от намеченной изначально схемы. Но, прибегая к этому способу, необходимо понимать, что обоснование своих проблем может оказаться сложнее и более трудоемким, чем принятие мер по устранению недоработок. Это очень распространенная ошибка начинающих исследователей – подмена исходной задачи на задачу оправдания ее невыполнения или ненадлежащего выполнения. Опыт подсказывает, что переделать зачастую быстрее и проще.

Наконец, последнее важное соображение, которое кажется самоочевидным, но это не мешает упускать его при написании экспериментальной части исследования. Коль скоро задача этой части – обосновать некоторую выдвинутую в начале гипотезу, в конце эта гипотеза *должна* быть подкреплена (в идеальном случае – доказана, но зачастую на деле она может стать только более правдоподобной, и это хороший научный результат) или опровергнута. Если в конце главы не подводятся итоги в отношении гипотезы, это методологическая ошибка. Крайне желательно это сделать в явном наглядном виде. Следует четко показать, какой ответ на поставленный вопрос дал эксперимент, подтверждена ли гипотеза и оправдала ли себя методика.

Итак, суммируем вышеизложенное в виде коротких пунктов.

1) «Практическая» часть НИР или дипломной работы должна быть экспериментальной. То есть являться проверкой некоторой гипотезы, связанной с решением научной проблемы, лежащей в основе исследования.

2) Гипотеза должна быть явно сформулирована и увязана с проблемой.

3) Формулировка гипотезы должна соответствовать критериям научности, в первую очередь – теоретичности, совместимости и системности.

4) Гипотеза должна быть обоснованной – должны быть приведены предпосылки ее выдвижения. Предпосылки должны быть связаны с теоретической и реферативной частями исследования.

5) Должны быть явно сформулированы параметры гипотезы, подлежащие проверке. Перечень этих параметров должен быть мотивирован.

6) По каждому параметру должны быть аргументированно сформулированы ожидаемые результаты.

7) Должны быть сформулированы критерии оценки соответствия фактических результатов ожидаемым и заданы направления их интерпретации.

8) Должны быть описаны и аргументированы методики и инструментарий планируемых действий, включая не только стенд (с помощью чего делаем) и сценарии (как делаем), но и выборку объектов основной (с чем мы все это делаем) и референсной группы (с чем мы все это сравниваем).

9) Ход эксперимента должен быть описан как можно подробнее, все принимаемые решения мотивированы.

10) Фактические результаты должны быть получены по всем намеченным при планировании параметрам, иное должно быть обосновано.

11) Фактические результаты обязательно должны быть проинтерпретированы на предмет корреляции с ожидаемыми, а также на предмет причин и, что не менее важно, следствий отклонений от ожидаемых.

12) Итоги экспериментальной части должны содержать выводы, подкрепляющие или опровергающие выдвинутую гипотезу.

Ǻʒ·əɚƔəɚɕ ɛRɜRɐɚɖʒ ʒ·ɚʒ ɞ ɚɫ əɔ ɫ ʒ·əR
ɔ ɑɣɚ ɪɖʒ·ɛɑɜɔ ɘɑə ɞRɗɨ əɚɑ ɜRƀɜɑ ɤ ɑəɔɑ

Стенограмма публичной лекции доктора биологических наук, главного научного сотрудника Лаборатории передачи информации в сенсорных системах ИППИ РАН ***Ивана Пигарёва.*** *Лекция состоялась 27 февраля 2014 года* в рамках цикла «Публичные лекции «Полит.ру» при поддержке фонда «Династия» и ИППИ РАН.

Я, прежде всего, хочу поблагодарить за приглашение выступить с лекцией, потому что я очень люблю это дело, особенно, когда у меня в душе есть некоторая уверенность, что те знания, которые я вам сегодня сообщу, могут быть очень полезны для вашего здоровья. Но я должен сразу огорчить, наверное, очень многих, кто пришел на эту лекцию, что как раз о снах в смысле как о сновидениях, ради чего, наверное, большая часть слушателей здесь собралась, я как раз говорить ничего и не буду. Потому что состояние сна и сновидения – это вещи совершенно разные, и если первое, действительно, чрезвычайно интересно, то второе, с моей точки зрения, ничего интересного не представляет. Откуда они берутся, я вам расскажу и надеюсь, что покажу, в чем тут фокус и почему это, на самом деле, ничего интересного собой не представляет.

Теперь будем переходить потихоньку ко сну. В чем я вижу сложность? Я представляю, что, наверное, в этой аудитории собираются люди самых разных специальностей, и не знающие, наверное, ни физиологии, ни медицины, и поэтому могут возникнуть, я так думаю, ситуации, когда я вдруг произнесу какое-нибудь слово, и будет непонятно, что это такое. Вот я прошу или уважаемого ведущего, я-то вообще готов предложить это делать любому, спрашивать «что это значит» и меня прерывать в любом месте для того, чтобы максимально понятно было то, о чем я буду говорить.

Я буду стараться максимально избегать того, чтобы я говорил что-нибудь, что будет непонятно. И поэтому давайте подведем некоторое основание, некоторую базу. Что такое состояние сна? Оно, с одной стороны, замечательно тем, что все знают, что это такое, и более или менее каждый здоровый человек один раз, а то и два раза в сутки, в этом состоянии находится. Таким образом, прошло уже сколько лет от сотворения мира, и каждый день каждый человек впадает в это состояние.

Это состояние, прежде всего, характеризуется тем, что почему-то у нас ухудшается получение сигналов из внешнего мира. Вы знаете, что глубоко спящий человек не слышит звуков, и если он сильно хочет спать, то даже очень сильные звуки его не будят. Люди не воспринимают зрительные сигналы, поступающие в глаз. Спящие, во-первых, закрывают глаза, чтобы отсечь вход зрительных сигналов из окружающего мира в мозг. Но, кроме этого, создан дополнительный механизм у нас в мозге, который во время сна блокирует проведение оставшихся импульсов, идущих от глаза в мозг человека.

Также очень сильно повышаются пороги восприятия сигналов, например, тактильных, и нужно очень сильно потрясти человека для того, чтобы он проснулся. Это всем хорошо известно. И вот такая картина приводила к представлению, что мозг спящего существа, спящего организма, находится в такой ситуации, которую научно или очень наукообразно называли сенсорной депривацией, то есть ситуацией, когда никакие сигналы из внешнего мира не поступают в мозг и мозг является изолированным от внешнего мира.

Все всегда задумывались, а что это за такое удивительное состояние? До первой половины XX века объяснение было

простое: сон – это, скорее всего, просто отдых мозга. Поработаем сильно физически, вроде мышцам надо отдохнуть, мозг поработал сильно в течение дня, и мозгу надо отдохнуть. Ну и было все хорошо и понятно, никто особенно и не задумывался над этой проблемой. Понятная вещь – периодически мозгу надо отдохнуть, надо поспать.

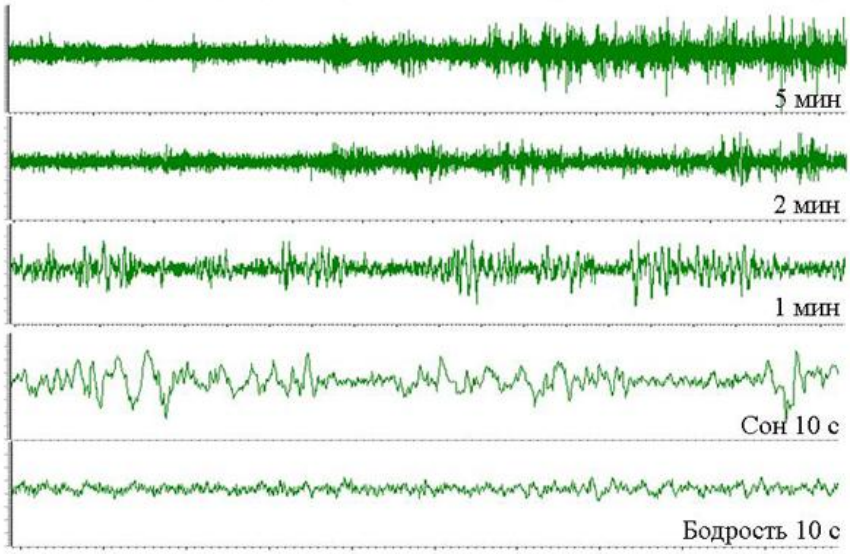
И только в 1930-е годы двадцатого века была разработана техника, позволяющая регистрировать суммарную электрическую активность больших участков мозга или от его поверхности, или от поверхности головы, а также электрические сигналы, генерируемые отдельными нейронами мозга. С применением этой техники было сделано совершенно удивительное наблюдение, которое опровергло все ожидания и представления.

Оказалось, что мозг во время сна не только не отдыхает, а наоборот, все его нейроны работают, как правило, даже более интенсивно, чем во время бодрствования. И вот тут возникла эта самая первая и удивительная загадка сна. Эта загадка сна для многих ученых существует и до настоящего времени. Если вы приедете на современный конгресс по изучению сна, то с большой вероятностью встретите девиз «Mystery of sleep» или что-нибудь похожее на это, потому что в мире исследователей сна общепризнанно, что назначение сна остается одной из величайших тайн и загадок природы.

Оно, конечно, может быть и так. Но на самом деле, ученые, занимающиеся сном, говоря такую вещь, несколько лукавят, потому что очень хорошо известно и очень давно, зачем нам нужен сон. Мы к этому со временем перейдем. Я покажу только, чтобы было повеселее, картинку, показывающую, как выглядит эта всем известная электроэнцефалограмма (ЭЭГ), то есть сигнал,

регистрируемый от поверхности мозга, и как он меняется при переходе от бодрствования ко сну.

Суммарная электрическая активность коры мозга кошки (ЭЭГ) при переходе от бодрствования ко сну



Как такую картинку получают? Прямо на поверхность мозга через маленькие дырочки, которые сверлятся в черепе (поскольку я физиолог, я работаю с животными), я ставлю электроды. О технике эксперимента я расскажу чуть позже. Электроды ставятся прямо на поверхность коры мозга, и оттуда регистрируется замечательная электрическая активность. И вот уже Ганс Бергер, который в свое время открыл, что можно регистрировать электрическую активность от поверхности мозга (ЭЭГ), обнаружил такую интересную вещь: по мере того, как начинает развиваться сон, низкоамплитудная и высокочастотная электрическая активность мозга начинает меняться и появляются низкочастотные и высокоамплитудные волны так называемого медленного сна.

Верхняя запись на этом рисунке очень сжатая, на этой записи помещается пять минут. В ее начале животное находится в состоянии бодрствования, а со временем развивается сон. Если мы возьмем кусочек этой записи и

начнем его растягивать до двух минут, одной минуты или до десяти секунд, то вы увидите знаменитые медленные волны сна, которые дали название фазе медленно-волнового или медленного сна, как я его потом буду называть. Эти волны замечательно регистрируются у мышей, крыс, кошек, обезьян, людей и выглядят более или менее одинаково. В какого зверя вы ни поместите электроды, будет довольно похожая картина.

Картина ЭЭГ дает возможность узнать, когда у нас животное находится в состоянии бодрствования, а когда засыпает. Надо сказать, что такое яркое различие состояния бодрствования и состояния сна по ЭЭГ было еще одним сильным аргументом в пользу того, что в состоянии сна и в состоянии бодрствования мозг находится в принципиально разных ситуациях. Полагали, что задачи, которые мозг решает в бодрости и во сне, принципиально отличаются, потому что даже электрическая картина становится такой удивительно различной.

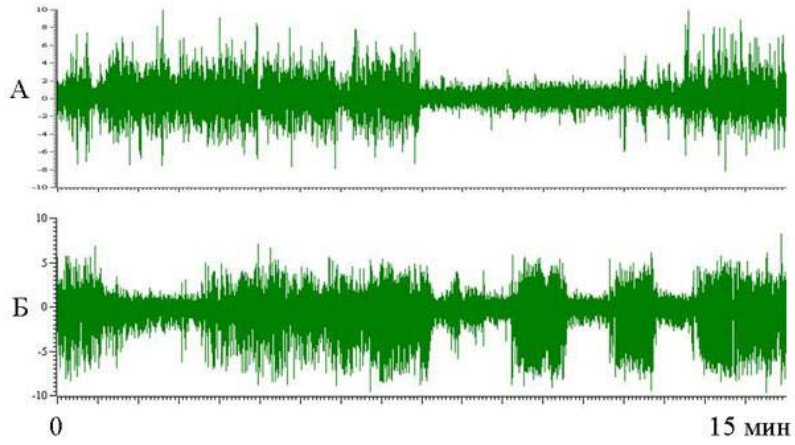
Но насколько этот вывод был обоснован, можно было усомниться. Как картинка, которую я вам здесь показываю, получается? Человеку накладывают электрод, он спит на удобном мягком матрасе, в комнате свет выключен, тихо, у испытуемого развивается полноценный активный сон. Потом он пробуждается, но продолжает лежать все в той же кровати, в окружении бедной зрительной обстановки, ничего не двигается, серое тусклое освещение, приглушенный звук, потому что камера обычно бывает звуконепроницаемой, тихой, чтобы никто ему не мешал спать. Таким образом, человек оказывается в ситуации чрезвычайно пассивного бодрствования.

Вот мы и подумали, что изменения в картине ЭЭГ при пробуждении могли быть потому, что у нас сначала было

состояние активного сна, а потом оно сменилось состоянием исключительно пассивного бодрствования.

Можно было предположить, что если животное или человека поместить в естественную среду, наполнить его зрительный и слуховой мир сигналами, поступающими через разные органы чувств, и заставить его двигаться, чтобы его мышцы тоже работали, и еще, чтобы все эти сигналы начали поступать к нему ритмично, с такой же ритмикой, с какой у него идут медленные волны в состоянии сна, то, может быть, ЭЭГ в бодрости у нас станет такой же волнообразной, как во сне.

Известные различия картины ЭЭГ в бодрствовании и во сне, возможно, были связаны не с тем, что мозг находится в двух принципиально разных ситуациях, а с тем, что просто сигналы, поступающие в кору мозга в состоянии бодрствования и состоянии сна, очень разные. А если мы в состоянии бодрости подадим в мозг такой же поток сигналов, как и во сне, то мы получим такую же картину. И это, действительно, оказалось так. Тут я вам покажу интересную картинку. Это ЭЭГ кролика.



На верхней записи вначале кролик спит, а потом он проснулся, и амплитуда волн упала. А тут он опять заснул, и волны появились вновь. А вот на нижней записи кролик все время находится в состоянии чрезвычайно активного

бодрствования. И на фоне этого активного бодрствования мы подаем зрительную стимуляцию неяркими вспышками света на глаз в ритме обычной сонной активности. И вы видите, что никто здесь не сможет различить, чем эта картина отличается от представленной на верхней записи. Действительно, ЭЭГ, если мы создадим определенный поток сигналов, идущих в мозг, примет ту форму, которую имеют входящие сигналы.

Таким образом, можно было усомниться, что состояния мозга во сне и в бодрости чем-то принципиально отличаются. Скорее можно было предположить, что оно ничем принципиально не отличается, кроме как потоком входных сигналов.

Это хорошо. Это был важный шаг, но теперь нам надо было подумать, а что это мог быть за источник таких синхронных периодических сигналов, которые поступают в кору мозга у млекопитающих и птиц во время сна. Что у них такого общего в состоянии сна. И вот на этом вопросе я на время оставлю область электрофизиологии и перейду к описанию обещанных экспериментов, которые показали, и довольно давно, а, собственно, зачем же существует сон?

Как можно было поставить эти эксперименты? Для этого не нужно было иметь никакой ЭЭГ, никаких энцефалографов и усилителей. Можно было сделать очень простой опыт. Надо было лишить животное сна на протяжении какого-то срока и посмотреть, что с ним станет. Что может быть проще этого? Мы сразу узнаем, зачем нам нужен сон.

Первый такой эксперимент был поставлен Марией Манасеиной, в России, еще в конце XIX века. Она не давала спать щенкам и описала, что через несколько дней такой процедуры, которая называется процедурой депривации сна, все щенки погибали. В то время эта работа не вызвала абсолютно никакого резонанса. Эту работу недавно нашел

Владимир Матвеевич Ковальзон – наш патриарх исследования сна. Благодаря ему мы теперь знаем, что первые такие эксперименты были сделаны так давно.

Надо сказать, что на этом дело не кончилось. В 1930-е годы в Ленинграде в Институте физиологии, в лаборатории академика К. М. Быкова снова были проведены подобные эксперименты. Они тоже не знали про Манасеину, естественно. Но это уже был совершенно другой уровень физиологии, физиологических знаний. Они не давали спать уже взрослым собакам. Было использовано шесть собак, и большое число опытных экспериментаторов с медицинским образованием, сменяя друг друга, постоянно наблюдали за этими собаками, не давали им спать, используя так называемые методы мягкой депривации сна. То есть с собаками играли, гуляли, не давали им никак заснуть, но не применяли при этом никаких неприятных или болевых стимуляций.

Они уже регистрировали многие, так называемые, висцеральные параметры, это пульс, кровяное давление, температуру тела, кожно-гальваническую реакцию, у них уже был довольно большой арсенал измеряемых параметров. И как опытные врачи, когда они понимали, что еще один час и собака погибнет, они эксперимент прекращали и давали собаке заснуть.

Собаки выдерживали это пять-шесть суток, после чего наступал момент, когда становилось очевидно, что собака погибает. Тогда собаке давали заснуть, она спала обычно часов десять-двенадцать непрерывно, потом вскакивала и была абсолютно здоровая, бодрая и веселая собака. И опять никто не обратил внимания на эти работы, благополучно про них забыли. И опять, совершенно случайно, мы с женой, готовя очередной обзор по проблемам депривации сна, в старых журналах того года нашли эту публикацию.

Первая работа, которая была сделана и обратила на себя внимание, была сделана в Америке в лаборатории Аллана Рехтшаффена (Allan Rechtschaffen) на крысах. У него была придумана исключительно остроумная конструкция, действительно, которая снимала очень много возражений. Как правило, к экспериментам с лишением сна бывают придирки, что тут проблема не в том, что вы лишаете животное сна, а в том, что вы создаете ситуацию стресса. И что это все последствия стресса, а не депривации сна. Рехтшаффен сумел обойти это возражение, я не буду сейчас вам рассказывать, как это было сделано. Это довольно частный момент, но на крысах в исключительно аккуратных условиях эксперимента он провел ту же самую работу. Поскольку крысы – это не собаки, это животное недорогое, он доводил этот эксперимент до конца, когда крыса действительно погибала. Как это делалось?

Он регистрировал ЭЭГ у крыс, которые постоянно жили на диске над водой. Компьютер следил за ЭЭГ. Когда в ЭЭГ появлялись признаки засыпания, диск начинал вращаться. Если крыса пробуждалась и ЭЭГ превращалась в ЭЭГ бодрствования, то вращение прекращали. Если крыса не просыпалась, то вращение продолжалось, и крыса вскоре съезжала в воду. Она из воды вылезала опять на диск, поскольку крысы очень не любят купаться, но потом долго не могла заснуть. Это был абсолютно автоматический эксперимент. Все под компьютерным контролем.

И вот, наступал очень интересный момент. Крыса была жива, вдруг у нее становилась плоская ЭЭГ, все волны исчезали, и это был уже момент невозврата. Если тут остановить эксперимент и дать крысе заснуть, она не отходила. Она все равно безвозвратно погибала. Рехтшаффен имел большую лабораторию, это были уже 1990-е годы, а не

30-е. И они, естественно, этих погибших крыс потом начинали вскрывать и выяснять, в чем дело и что произошло. А что произошло? По описанию, примерно через сутки лишения сна животные начинали есть большое количество пищи, но с большой скоростью теряли вес. На коже появлялись язвы, вылезал мех. Когда делали вскрытие, оказывалось, что весь желудочно-кишечный тракт как одна сплошная язва, там язвы желудка, язвы кишечника.

Более тщательные исследования последних лет показали, что все это, скорее всего, было результатом отключения иммунной системы, которая тоже, вдобавок ко всему, при этом выходила из строя. Но что было самое удивительное и для экспериментаторов, и для всех тех, кто читал эти работы, что был у крысы единственный орган, который практически не страдал от депривации сна. Это был мозг! Если все до этого думали, что сон – это, прежде всего, состояние, нужное для поддержания работы мозга, то эти эксперименты показали, что это, скорее всего, не так. Что мозг ухитряется сохранить свою работоспособность и целостность, независимо ни от каких состояний. Животное погибает, но мозг при этом еще сохраняется целым.

Ну и вот теперь давайте попробуем свести воедино те две истории, которые я вам сегодня рассказал. Первое, возникла гипотеза, что, во-первых, кора мозга и во сне, и в бодрствовании, возможно, занимается одними и теми же операциями. То есть кора мозга – это не специализированный компьютер, как мы сейчас хотели бы сказать, а это есть некоторый универсальный компьютер, который делает некие операции с входной информацией, независимо от того, что туда идет. Она, может быть, и не знает, что за сорт информации туда подается. Она делает с ней какую-то

операцию и тому, кто ей отправил задачу, выдает ответ. А кто же посылает задачу во сне?

Тут, собственно, и будет самое интересное. Характер ЭЭГ, которые мы пишем, вот эти волны, которые мы регистрируем, только отражают характер входных сигналов, идущих в кору. Если они ритмичные, если они синхронизированные, то мы видим волны, если они не ритмичные и несинхронизированные, не видим волны. И тогда у нас возникает вопрос: вот мы знаем результаты экспериментов по депривации сна, животные погибли не из-за того, что у них плохой мозг, а явно от каких-то существенных висцеральных расстройств.

Слово «висцеральный» – связанный с нашими потрохами. Viscera (лат.) – внутренности, все, что у нас в животе лежит, желудок, кишечник. Слово «висцеральный», которое я буду употреблять в будущем, включает все, что определяет жизнеспособность нашего тела. Не мыслительную нашу функцию, а именно сохранение нашего тела как некий живой организм. И вот тут возникла у нас простая, даже я бы сказал, примитивная и естественная идея.

Что происходит? Мозг наш как некий универсальный компьютер во время бодрствования обеспечивает нашу жизнь во внешней среде. Он получает сигналы из внешнего мира через глаза, уши, тело, тактильную рецепцию и т. д. для того, чтобы обеспечить наше активное поведение в окружающей среде. Но у нас есть другой мир, у нас есть внутренний мир, мир наших внутренних органов, который тоже безумно сложный, но в отличие от внешнего мира мир наших внутренних органов не представлен в наших ощущениях. Это вопрос уже не ко мне, а скорее к конструктору нашего тела, но так было сделано, что наши внутренние органы не представлены в наших ощущениях.

Мы не чувствуем наших кишок, наших почек. Любого человека спросите, что у него внутри, он ничего вам не скажет, пока не прочтет книжку по анатомии. Но этот мир есть, он безумно сложен. Когда физиологи его изучают, становится понятно, насколько он сложен.

Чтобы не быть совсем уж голословным, я приведу такой простой пример: все мы хорошо знаем, насколько важно для нас зрение. Так вот зрительную информацию мы получаем через рецепторы, расположенные в сетчатке глаза, – палочки и колбочки. Это все знают еще из школьных курсов анатомии. В глазах человека их порядка полутора миллионов. Сигналы от палочек и колбочек передаются в мозг для анализа. В результате этого анализа мы видим. Мы можем оценивать расстояния, узнавать лица и организовывать наше обычное, нормальное, зрительное поведение.

Так вот, оказалось, что только в стенках желудочно-кишечного тракта расположено столько же рецепторов, сколько в обоих сетчатках наших глаз. Эти рецепторы передают сигналы о температуре, химическом составе перевариваемой пищи, о механических изменениях там и, видимо, о многом-многом другом, о чем мы даже догадываться не можем, потому что это не дано нам в ощущениях. Зрением мы можем посмотреть, тактильно мы можем пощупать, а что идет оттуда, мы не знаем. В мире нашего сознания не представлен наш висцеральный мир. Но поток информации, идущий оттуда, огромен, он соизмерим с потоком зрительным.

И мы предложили очень простую гипотезу. Сон – это то время, когда наш мозг переключается на анализ сигналов, приходящих от внутренних органов. Если там столько сенсоров, то не зря же они там расположены. Если они там есть, значит, они работают. Любая биологическая система устроена так: кто

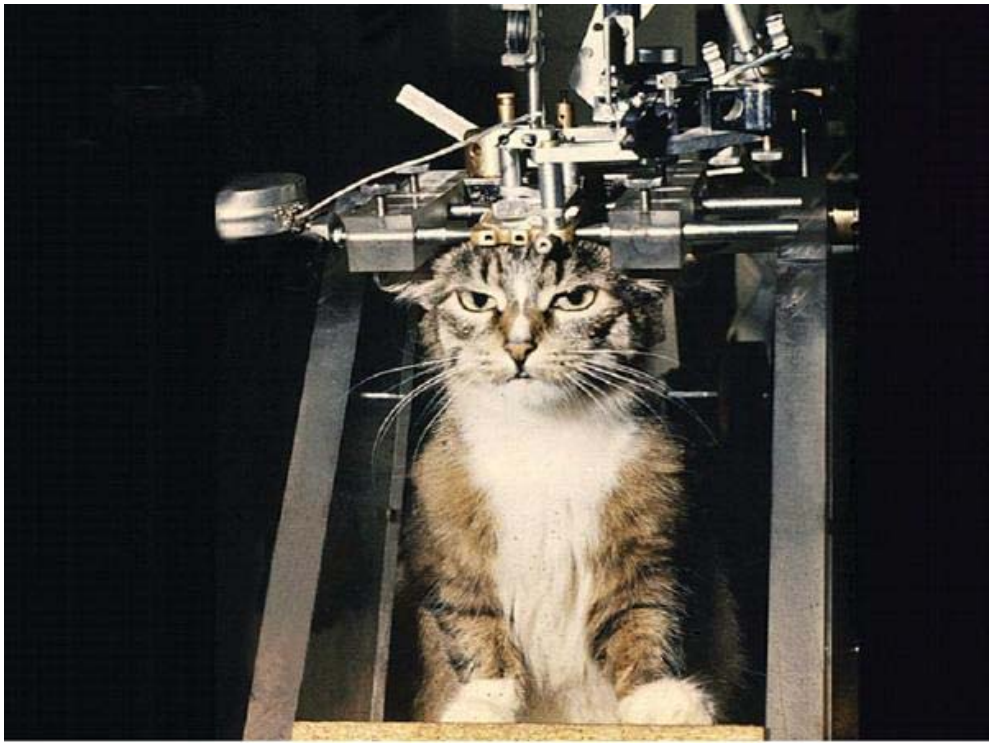
не работает, того нужно съесть. И если какая-то клеточка почему-то не работает, ее тут же съедают специальные другие клеточки, которые на это и сделаны, чтобы никаких бездельников в этом сообществе биологического тела не оставалось. А они все не съедены, значит, они действительно, реально работают. Если они работают, значит, эту информацию должен кто-то анализировать.

Оказалась к этому времени удивительная картина: во всей нашей огромной коре мозга нет представительства внутренних органов, они там не представлены. Совершенно нелепая картина! Как можно себе такое представить? И тогда, замечательно, все сходится одно с другим. Кора мозга у нас в бодрствовании занимается сигналами из внешнего мира, во время сна занимается сигналами из нашего внутреннего мира, от наших внутренних органов. Вот, вроде, получается гипотеза, которая позволяет все объяснить, связать одно с другим.

Надо сказать, что гипотеза эта была довольно фантастической. Никто из физиологов представить себе такое и поверить в это не мог. Когда мы с этой гипотезой выступили, это не укладывалось ни в какие рамки классической физиологии того времени. Все считали, что кора мозга – это специализированные зоны – зрительная, слуховая, соматосенсорная. У всех в сознании кора представлялась как процессор специализированный. Обычная реакция была: «Да что вы мне рассказываете! Зрительная кора сделана для того, чтобы анализировать ориентацию линий, глубину, цвет и т. д., а вы со своими кишками какими-то, кому вообще нужны эти кишки?»

Прелесть этой гипотезы была в том, что она допускала довольно простую экспериментальную проверку. И как раз этой экспериментальной проверкой мы и занялись. Мы и

сами понимали, что выглядит-то все довольно красиво, но неправдоподобно. А проверку, оказалось, сделать довольно просто.



Я не объяснил, что это за красивая кошечка здесь сидит на слайде. Это наша основная экспериментальная парадигма. Животные у нас всегда абсолютно нормальные, живые, здоровые, целые. Я подчеркиваю еще, что я абсолютно не допускаю такой процедуры с домашними животными, как кастрация. Я считаю, что, если хозяин готов пойти на такое, он должен сначала сделать это с собой, а потом уже со своей кошечкой. Поэтому все кошки, которые у меня работают, это всегда некастрированные, нормальные кошки.

Вторая моя задача, чтобы, конечно, ей никогда не было больно, чтобы все было для нее комфортно. Кошки у меня живут по много лет, и когда они кончают эту серию экспериментов, то с них все снимается, зашивается, и они уезжают ко мне на дачу. И там они доживают свою жизнь. Но это случается не часто, потому что кошки работают очень подолгу, и они любят лабораторию. У моих кошек есть

клетка, но это их дом родной, а когда я прихожу, то открываю клетку. Кошка ходит, где пожелает. Обычно она спит у меня на столе перед компьютером.

Что тут сделано? На голове кошки установлена рамка, поставленная на ее череп. В черепе нет болевой чувствительности. Череп – это кость, в которой нет никаких чувствительных сенсоров. Поэтому на череп можно поставить рамку, которая позволяет зажать голову в станок, и при этом кошка ничего не чувствует. Кроме того, ей не нужно поддерживать голову мышцами шеи. Она быстро понимает прелесть этого положения и соображает, что это лучшее место для сна, потому что не надо напрягать шею. Сел, тебе застегнули голову и все, можно расслабиться и спать. Все кошки в таких условиях быстро начинают прекрасно спать.

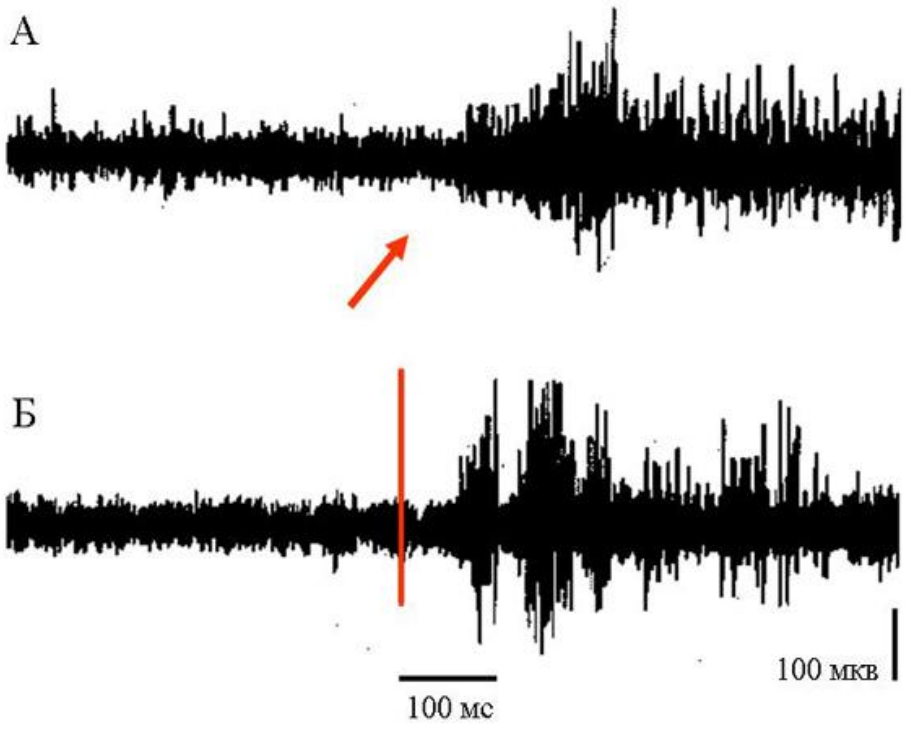
Метод был у нас первоначально разработан для экспериментов по зрению, которым мы в то время занимались. Мы регистрировали активность нейронов зрительной коры. Зрительная кора была прекрасна тем, что она была наиболее изученной зоной коры мозга, и всем всегда было прекрасно известно, что все нейроны в зрительной коре в состоянии бодрствования, естественно, реагируют на зрительную стимуляцию, и только на зрительную. И это самая-самая что ни на есть специализированная зона мозга, которая вот такая стопроцентно зрительная. И мы решили, что нашу идею надо проверять, прежде всего, на зрительной коре. Если окажется, что тут нейроны во время сна начинают реагировать не на зрение, а на кишки, это будет довольно убедительная картинка.

Мы в период бодрствования регистрировали активность нейронов. Это уже не суммарная ЭЭГ. Тут используется тонкий микроэлектрод. Кончик у него один-два микрона, он погружается внутрь коры мозга, подходит близко к

одиночной нервной клетке в мозге и регистрирует его электрические импульсы.

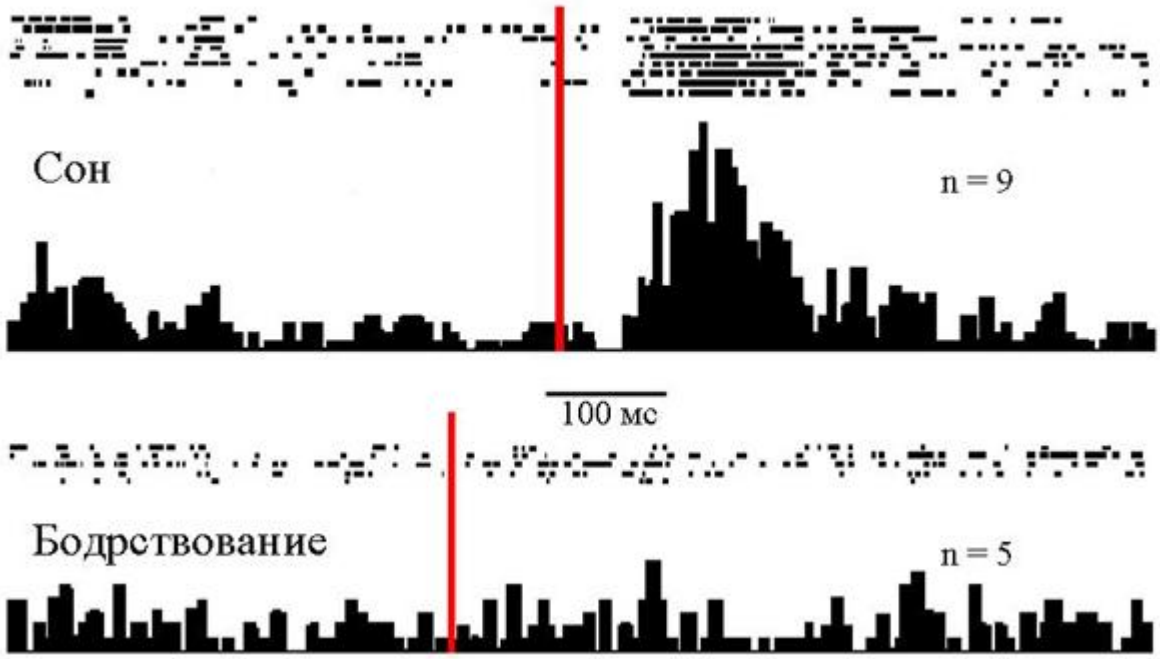
Нервные клетки, как они устроены, что это за штука? Я не буду, конечно, рассказывать детали. Нервные клетки общаются друг с другом с помощью электрических импульсов, практически как наши компьютеры. У них есть вход, у них есть выход. На вход к ним поступают сигналы от других, соседних нейронов, выход у нейрона обычно один. Выходное волокно может идти в самых разных направлениях до какого-то другого нейрона, в другую часть мозга или в другой части тела.

Эти волокна могут быть очень длинные. Везде и всюду по ним идут просто электрические импульсы. Вы ставите рядом электрод, и вы можете регистрировать эти электрические импульсы. Так вы можете решить, в какой ситуации этот нейрон активируется, то есть за что он отвечает и в чем его смысл жизни. Если нейрон начинает реагировать на вашу стимуляцию, значит, нейрон в данный момент анализирует приходящие сигналы, которые вы ему даете.



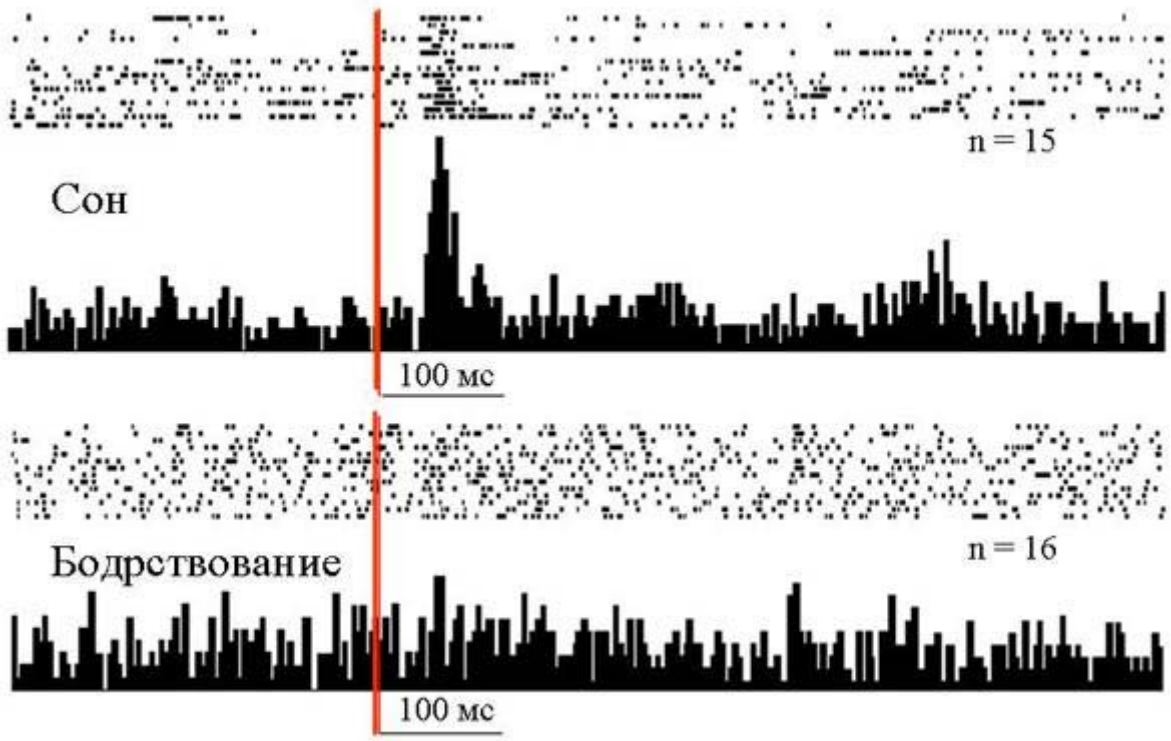
Верхняя картинка здесь, это такая запись. А вот где красная стрелочка, я в это время перед мордой кошки вожу рукой. Вы видите, нейроны зрительной коры очень бурно реагируют на это дело. Тут они молчали, а тут они все вспыхнули, их довольно много, разных, но все они вспыхнули и дружно ответили, что они действительно видят мою руку. Это самое примитивное дело, конечно, в настоящих экспериментах мы водим не руку, задачи посложнее даются. Но самое простое увидеть, что он зрительный, это вот так подвигать рукой перед мордой.

Когда мы получили такой зрительный ответ, мы оставили электрод в этом же самом месте и дали кошке заснуть. И вот когда кошка заснула, мы током простимулировали кишечник. Предварительно кошке были имплантированы электроды в стенку кишечника, и, когда кошка спала, на кишечник был дан импульс тока. Такой слабенький, что он ее не разбудил. А потом оказалось даже, что, когда начинаешь ей стимулировать кишечник, она начинает спать еще глубже, что вообще говоря, исходя из этой теории, можно было ожидать. Так вот, мы в момент, отмеченный красной полоской, простимулировали ей кишечник. И вы видите, что ответ нейронов в зрительной коре оказался даже еще мощнее, чем на зрительную стимуляцию.

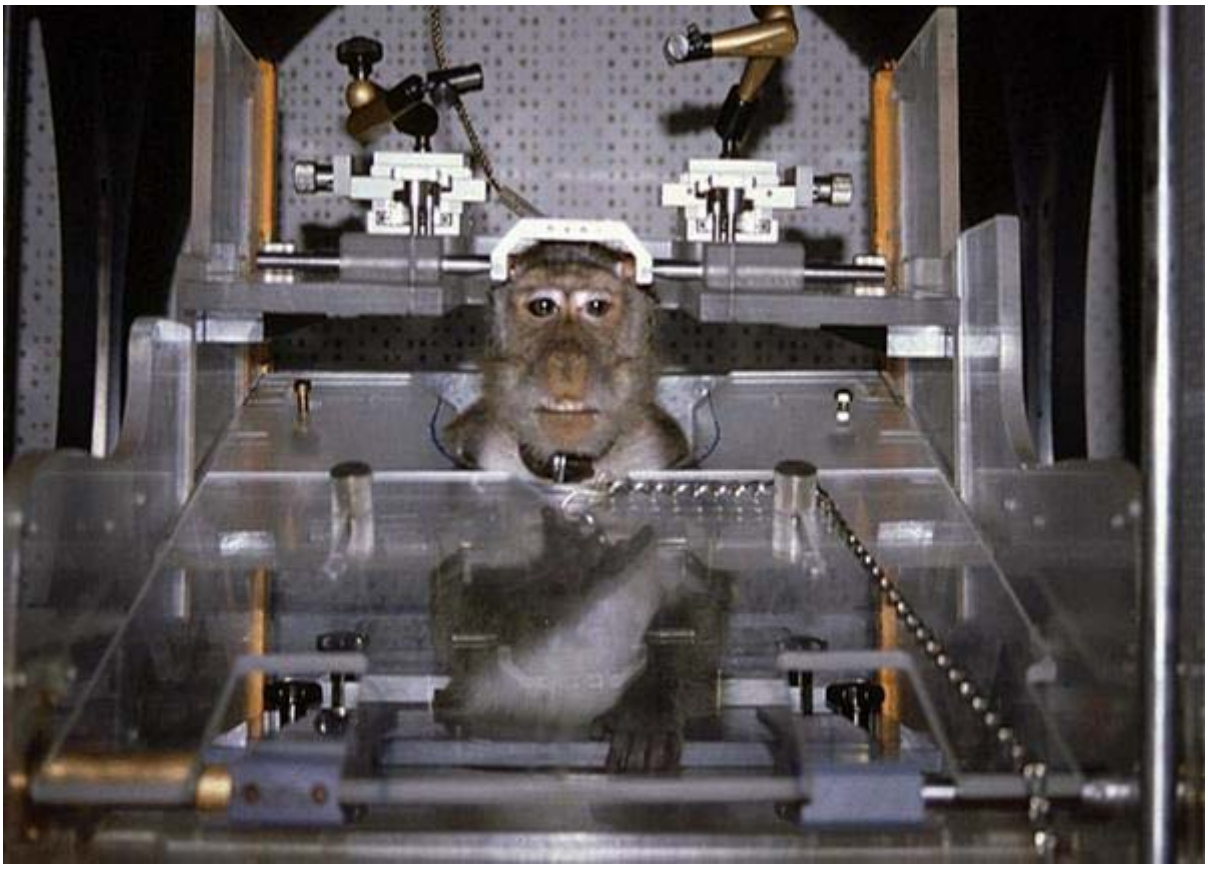


Вот эта картинка уже более наукообразная. В сущности, то же самое. Тут уже одиночный нейрон зрительной коры и нет зрительной стимуляции. Здесь мы только смотрим ответы этого нейрона на стимуляцию током кишечника. Вот эта красная линия – это момент стимуляции, каждая точечка на строчках – это появление одиночного импульса. Вот это идет фоновая активность нейрона, тут мы провели электрическую стимуляцию, через некоторый, так называемый, латентный период, видите, точек стало больше, то есть нейрон среагировал на эту стимуляцию.

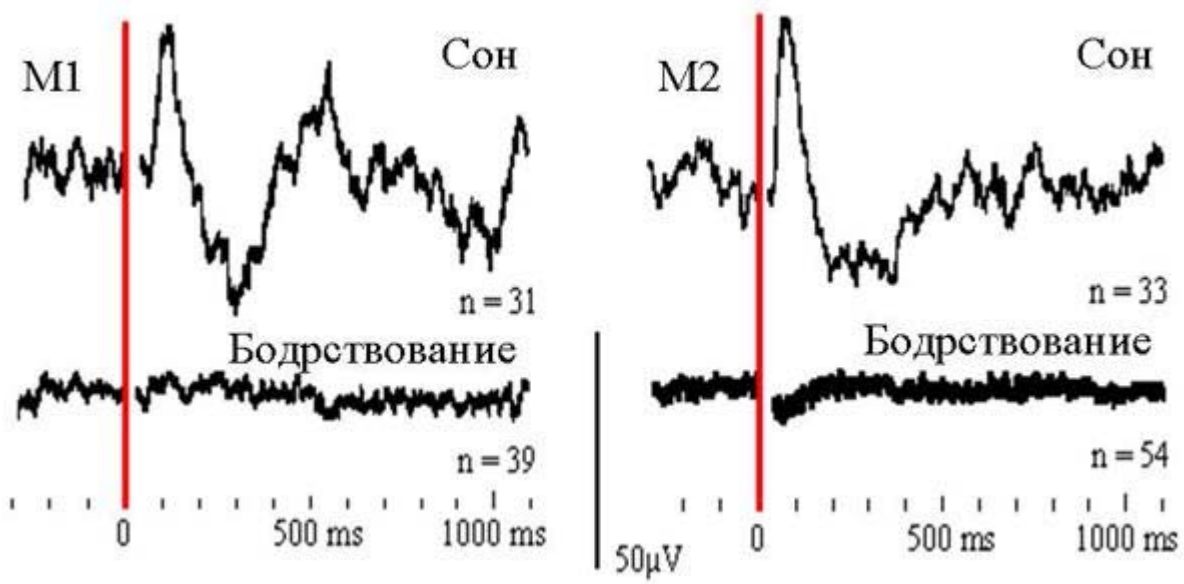
Здесь было девять таких стимуляций проведено, когда мы все это сложили, получили вот такую гистограмму, видно, что на эту стимуляцию во время сна этот нейрон дал такой хороший ответ. А вот теперь мы кошку разбудили и в состоянии бодрствования дали ту же самую стимуляцию на кишечник. И вы видите, что ответы этого нейрона на стимуляцию кишечника тут же исчезают, и тот же самый нейрон переключается на зрительную функцию. Зрительные ответы на этом рисунке я не показываю.



Это то же самое, но сделано не на зрительной коре, а на соматосенсорной, но результат был такой же.



Обезьяны. Кошки от человека все-таки далеко. Можно было легко сказать: «Ну ладно, у кошки может быть и так. А уж у человека точно не так». Обезьянка все-таки более похожа на человека, и с ней можно было сделать примерно то же самое. Только здесь уже не одиночный нейрон, а другой вариант эксперимента. Можно поставить электрод и регистрировать суммарный ответ многих нейронов. Каждый нейрон в тот момент, когда он генерирует импульс тока, генерирует еще медленные отклонения потенциала. Если их суммировать с некоей зоны мозга, то можно увидеть суммарную активность большого количества нейронов в этой части мозга. Это, так называемые, вызванные потенциалы мозга.



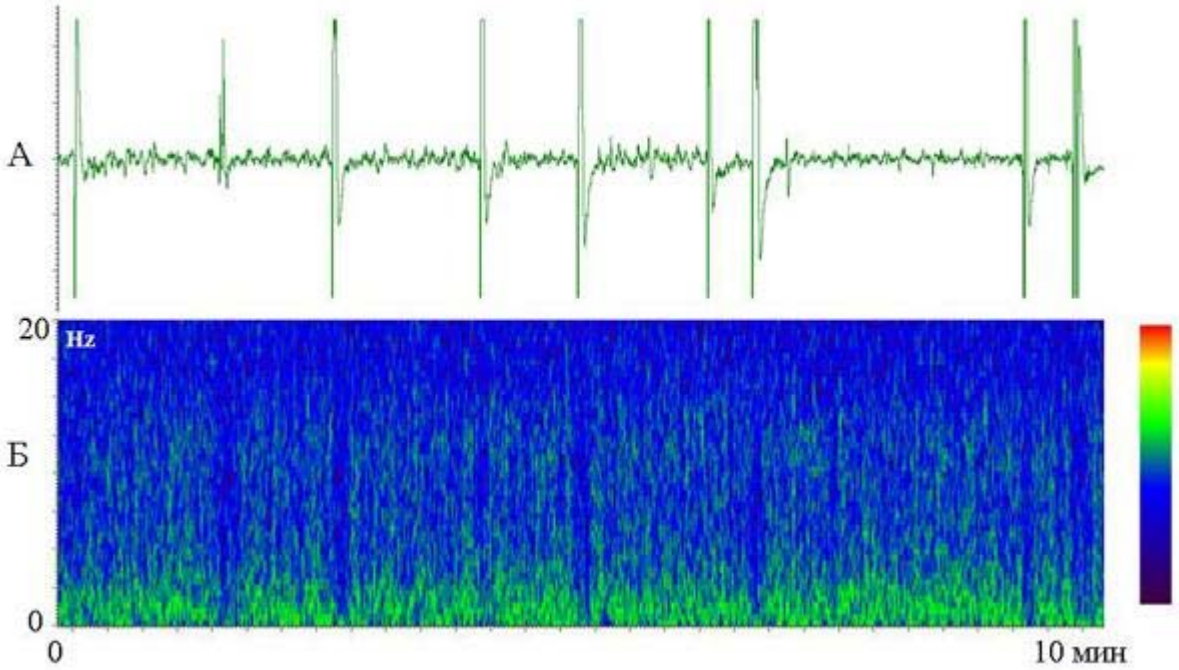
На рисунке представлены результаты двух экспериментов. Двум обезьянам во время сна стимулировали кишечник. Мы видим большую волну. Она отражает активацию нейронов в этой зоне мозга. Теперь мы будим обезьяну, такой же стимул даем. Вы видите, никакой волны тут нет. Таким образом, в экспериментах на обезьянах получилось в точности то же самое, что и на кошках.

Мы начали рассказывать об этих результатах, они вызвали, конечно, злобное возмущение окружающих физиологов, потому что это не лезло ни в какие ворота, и, естественно, люди старались придумать хоть какое-то объяснение, почему это не имеет смысла и почему это все полная ерунда. Первое возражение было в том, что «вы стимулируете кишечник током, это же не специфическое явление, вы делаете что-то искусственное, и то, что вы видите, тоже совершенно искусственные ответы». Возражение очень странное, особенно тем, кто был знаком с историей физиологии, поскольку большая часть информации о нервной системе получена именно методом электростимуляции. Но это ладно, это уже на совести этих товарищей можно оставить.

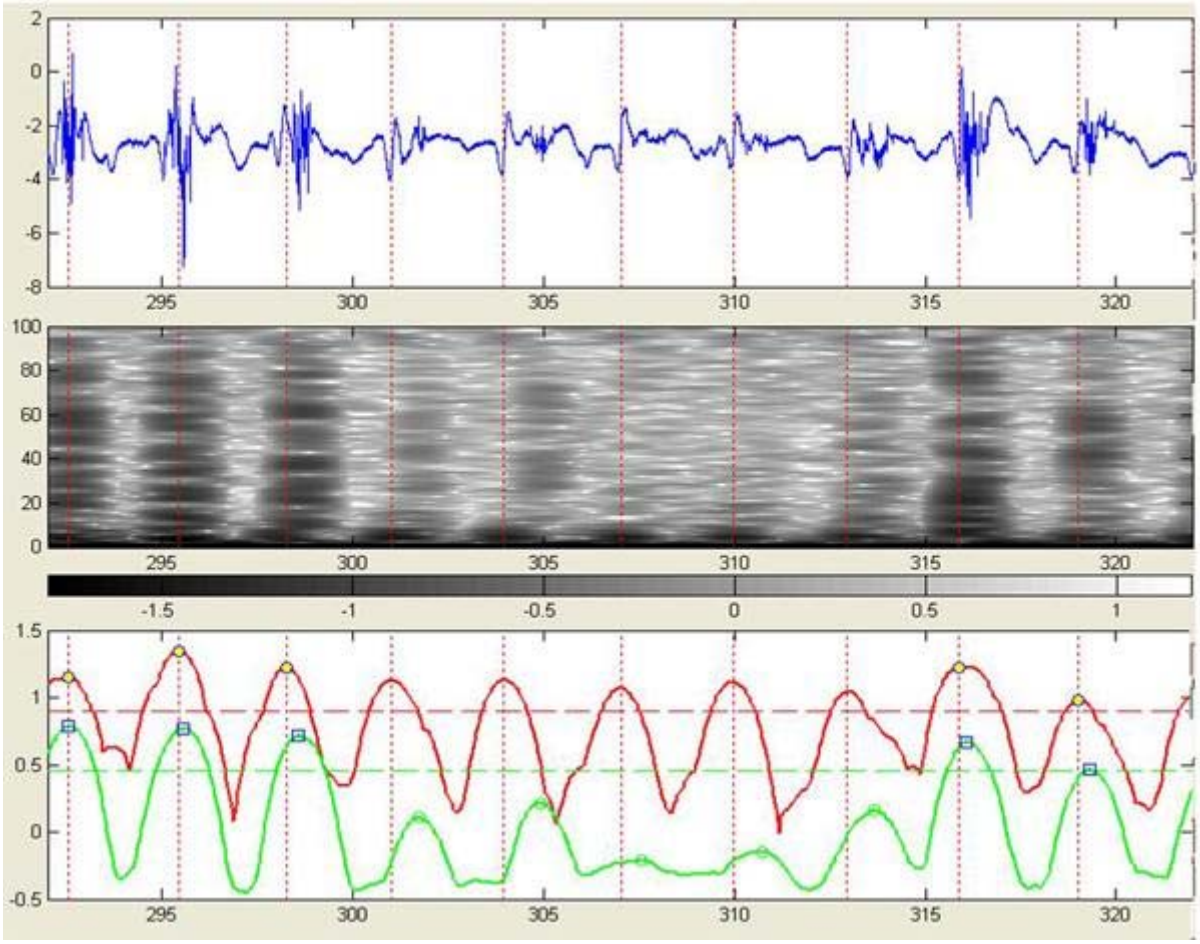
Я сам всегда тоже не был большим любителем электростимуляции, мне казалось интереснее все-таки все смотреть в натуральных условиях. И стремление наше было, конечно же, начать регистрировать настоящую, натуральную активность внутренних органов зверушки, например, кишечника или желудка, и эту естественную активность сопоставлять с активностью нейронов разных отделов коры мозга. Тут нам на помощь пришел Виталий Аркадьевич Багаев, к сожалению, ныне покойный.

Он тогда руководил лабораторией кортико-висцеральных отношений в Институте физиологии им. Павлова, большой специалист, хирург, который замечательно оперировал животных. Для меня всегда была проблема, голову-то я умею оперировать, а вот полостные операции я до этого никогда не делал, и для меня забраться в желудок или в кишечник казалось как раз чем-то довольно сложным. Он приехал в Москву и наших кошек прооперировал и поставил им электроды в стенки

кишечника и желудка, и мы получили возможность регистрировать уже натуральную миоэлектрическую активность этих органов и сопоставлять ее с активностью нейронов коры мозга. Теперь не было никакой искусственной стимуляции.



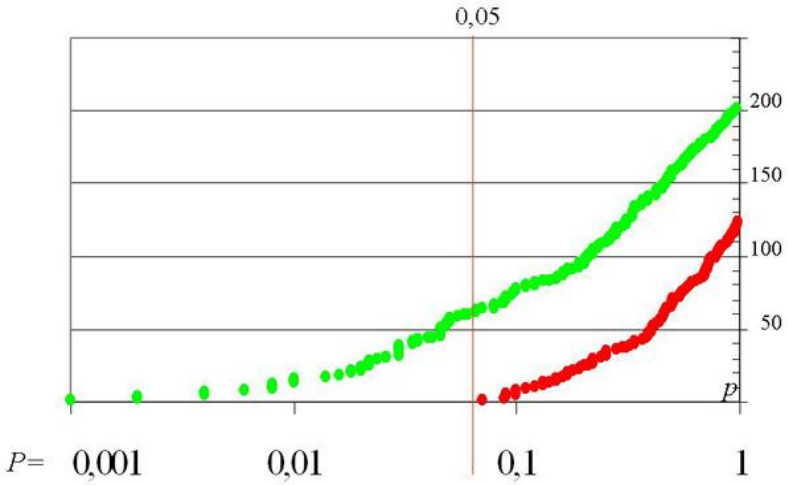
Вот один из таких экспериментов. Эти большие всплески – так называемая, голодная активность желудка. Когда у вас в животе бурчит, это оно! Если у кошки через два часа после кормежки из желудка вся пища переходит в кишечник, желудок начинает периодически с ритмом где-то в минуту-полторы мощно сокращаться. И когда эти мощные сокращения происходят, регистрируется такая вот миоэлектрическая активность.



А вот это не совсем привычная запись. Это та же ЭЭГ коры мозга, но представленная здесь как спектрограмма. Я не буду вдаваться в методические тонкости получения этой картинки, это не так важно. Важно то, что, глянув на эту картинку, вы сразу видите, что появление этих всплесков активности в желудке совпадает с появлением вертикальных синих линий в спектрограмме. А эти синие линии отражают моменты, когда в ЭЭГ спящей кошки вдруг на короткий момент прекращаются медленные волны. Идут, идут, потом бывает короткий период, когда их нет, одну-две секунды. Потом они опять продолжаются.

Поведенчески сон при этом не прерывается. Пороги восприятия остаются такими же высокими, как и в настоящем глубоком сне. Эти явления известны всем, кто когда-либо писал ЭЭГ сна. И стало понятно, что, оказывается, эти

периоды короткой, так называемой, десинхронизации ЭЭГ во время сна просто связаны с периодами сокращения желудка во время сна.

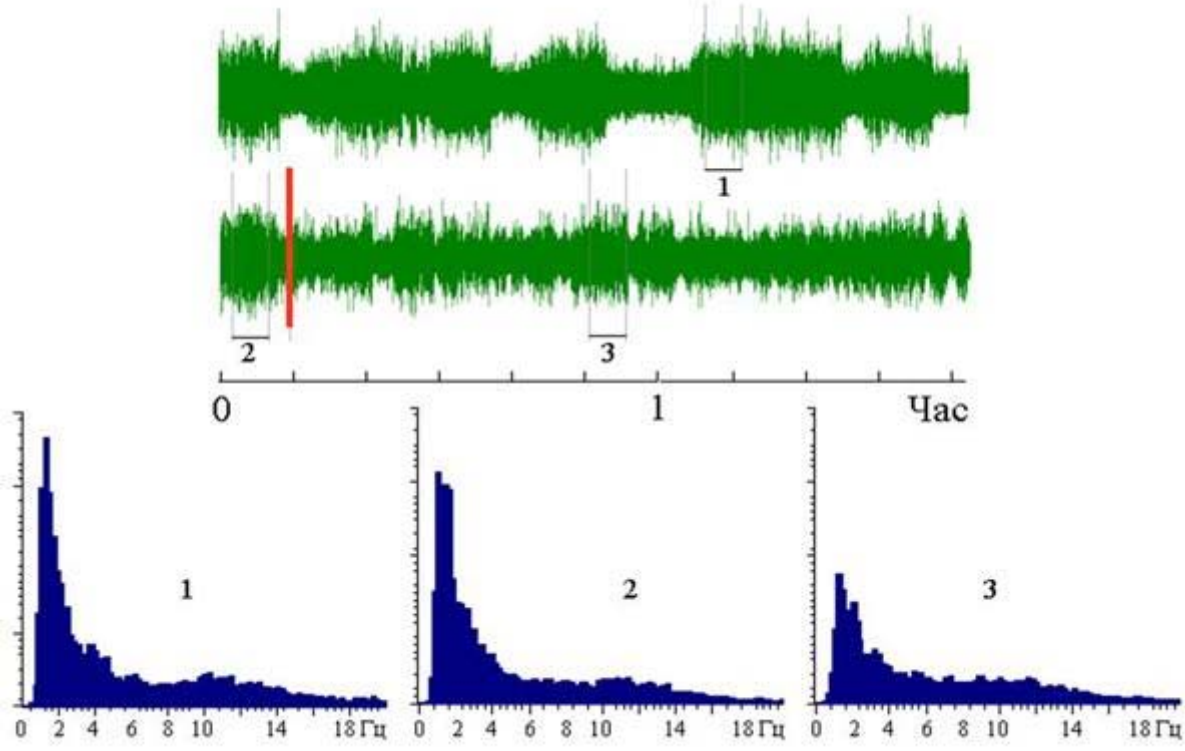


Другой вариант опыта мы совсем быстро проскочим. Я хочу просто показать вам, между прочим, что надо очень серьезно относиться к своим внутренностям и что это не такая простая штука. Я вам показывал вначале, как выглядит ЭЭГ мозга. А это – электрическая активность, зафиксированная у стенки двенадцатиперстной кишки. Мне кажется, она ничуть не проще, чем картинка, которую мы регистрируем от поверхности мозга. Тут тоже видно, что она имеет очень широкий спектр, – это спектрограмма этой активности показана на нижней записи.

Почему я это показываю? Следующий наш эксперимент был такой: мы старались посмотреть, а есть ли в коре мозга нейроны, которые во время сна начнут реагировать в ритме перистальтики кишечника. У кишечника довольно частая перистальтика, и можно набрать большой материал и маленькие сигналы таким образом вытаскивать из шума. Но прелесть активности двенадцатиперстной кишки в том, что у нее не совсем одинаковый ритм, у нее есть очень простые гладенькие волны, а бывает, что у них появляются мощные электрические импульсы. Когда у них появляются мощные

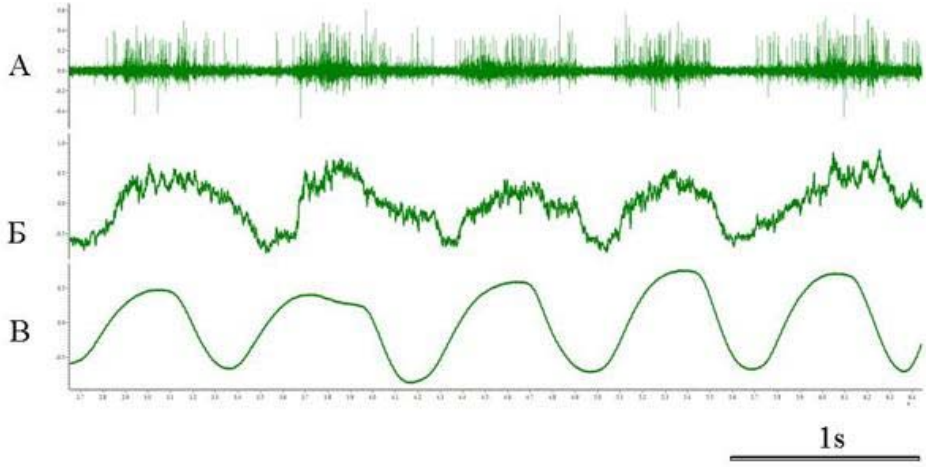
электрические импульсы, там происходят особо сильные сокращения стенки кишечника.

Мы регистрировали эту активность, и параллельно мы регистрировали активность нейронов разных отделов зрительной коры, и в затылке, и в лобной зрительной зоне, и в теменной зрительной зоне. И вот оказалось, что примерно треть из всех нейронов, которые мы зарегистрировали во время медленного сна, устанавливают хорошую корреляцию с вот этой ритмикой двенадцатиперстной кишки. Но оказалось даже больше того, они не просто устанавливают эту корреляцию, но среди них есть избирательные нейроны, одни из них устанавливают связь вот с этими колебаниями, с, так называемыми, спайк-потенциалами, а другие – с теми волнами, которые их не имеют. Видно уже, что нейроны там умеют проводить какой-то, непонятный нам, хитроумный анализ.



Еще один вариант такого же эксперимента. Так выглядит кусок нормального дневного сна кошки. Периоды высокоамплитудных волн – это медленно-волновой сон. А это

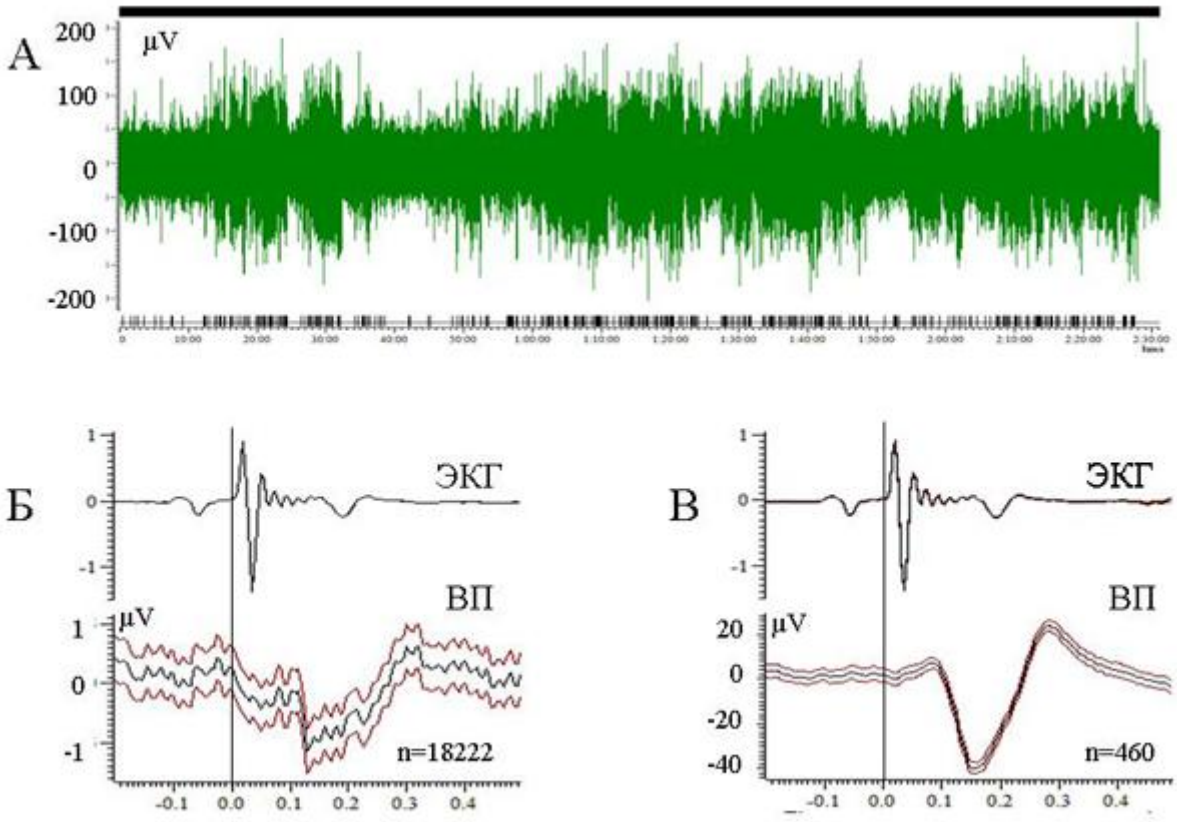
периоды пробуждения или быстрой фазы сна. А вот здесь, в другой день, мы кошке через фистулу в желудок ввели лекарство «Лоперамид», это известное кишечное средство, во многих лекарствах оно есть, оно сильно меняет всасывание через разные каналы. Видно, как введение «Лоперамида» существенно изменило картину ЭЭГ кошки во время сна. Это нормальный сон, а это сон после введения «Лоперамида». Полностью рассыпалась вся картина электрической активности мозга, уже стало непонятно, что это – быстрый сон или медленный сон.



Но, конечно, не только желудочно-кишечный тракт представлен в коре мозга во время сна. На следующем слайде показан ритм дыхания, локальная ЭЭГ первичной зрительной коры и нейроны в первичной зрительной коре во время сна. Вы видите, как замечательно эти нейроны следуют за ритмом дыхания, это бывает не часто, таких нейронов мы видели немного. Недавно коллега из одного американского университета мне написал, что в соматосенсорной коре обезьяны, которая у него была, под наркозом вдруг обнаружилось, что нейрон начал разряжаться в ритме дыхания.

Оказалось, что не только дыхание, но и активность сердца отражается в корковой ЭЭГ во время сна. Вызванные

ответы на сердечные сокращения тоже появляются как раз в периоды высокоамплитудного медленного сна.



Наверное, нужно что-то сказать и про быстрый сон, потому что, наверное, многие из вас в каких-то журнальных статьях слышали байку, что именно быстрый сон – это то состояние мозга, когда мы видим сновидения. Ну вот, во-первых, хочу вам сказать, что от этого утверждения уже практически все ученые отказались. Было сделано большое количество экспериментов, которые показали, что сновидения могут быть и в фазу медленного сна, и в фазу быстрого сна. Я вам сейчас дальше предложу механизм появления сновидений, будет понятно, скорее всего, что тут фаза сна роли не играет.

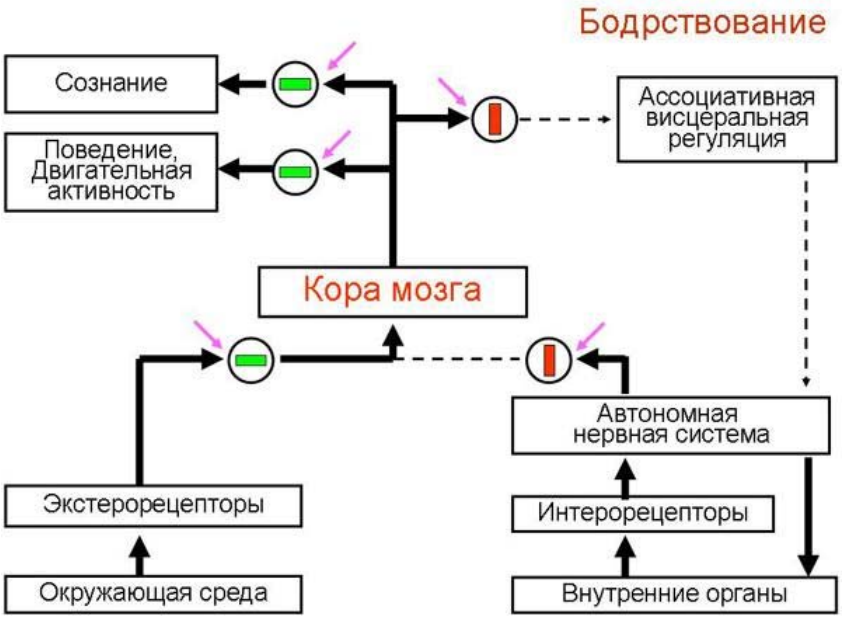
А что же тогда этот быстрый сон? Ответом на этот вопрос мы пока серьезно не занимались. Быстрый сон отличается от медленного сна только тем, что там нет этих больших

медленных волн. А если мы посмотрим на наши внутренние органы, то увидим, что есть внутренние органы, которые имеют явно выраженную ритмическую активность, вроде желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), дыхания, сердца. А есть органы, которые не имеют ритмической активности, – печень, почки, репродуктивная система, сосудистая система, лимфатическая система. Там нет столь очевидной ритмики.

Так вот, скорее всего, просто-напросто мозг проводит во время одного цикла сна некоторое поочередное сканирование всех частей нашего тела. Когда он сканирует те части тела, которые имеют ритмическую активность, мы видим волны ЭЭГ.

Когда мы приходим к органам, которые не имеют ритмической активности, она становится такая неритмическая, мы ее называем «быстрым сном».

Мы уже подходим к концу лекции. Теперь я хочу показать простую схему, показывающую, как нам сейчас представляется, организацию информационных потоков в мозге при переходе от бодрствования ко сну.



Левая половина – это то, что происходит в состоянии бодрствования. Во время бодрствования сигналы из

окружающей среды через, так называемые, экстеро-рецепторы (это все сенсоры, получающие сигналы из внешнего мира) попадают в кору мозга. По дороге они проходят через некоторое устройство, которое можно назвать «вентильное устройство» или «блокирующее устройство».

Смысл его состоит в том, что входы от рецепторов никогда не идут прямо в кору, это медицинский факт. Они проходят через специальную промежуточную структуру, которая называется «таламус». И там происходит переключение сигналов с одного нейрона на другой нейрон, и вот там, где происходит это переключение, можно сигнал передать, а можно сигнал не передать.

И вот для этого существует вот такое устройство, которое может по некоторому внешнему сигналу открыть проведение или закрыть проведение. Это таламический уровень. Во время бодрствования эти сигналы пропускаются в кору мозга для анализа, тут они анализируются и выдается результат. Куда? Выдается в два блока, один блок связан с нашим сознанием, ощущением и нашим восприятием, и ощущением себя во внешнем мире. Второй блок связан с обеспечением поведения и двигательной активности.

Тут возможно возникновение недоумения. Все со школы знают, что с сознанием, с памятью, со всеми сложными высшими когнитивными функциями связана кора. Я тут хочу сказать, что именно работа со сном ставит под сомнение это общепризнанное заключение.

Мы прекрасно знаем, что во время сна сознание выключено. Нейроны в коре мозга во время сна так же активны, как во время бодрости. Если бы сознание было связано с активностью нейронов коры, то, видимо, оно должно было быть активно и во время сна. Никакой разницы в активности нейронов в коре мозга во сне и в бодрости нет, как я вам пытался показать до этого.

Значит, надо предположить и заключить, что или сознание не связано с нейронной активностью, или нейроны, связанные с сознанием, локализованы не в коре.

С этой логикой были поставлены специальные эксперименты. Одна американская команда занималась визуализацией интенсивности нейронной активности в мозге с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ) или позитронной томографии. Они смотрели, какие отделы мозга в каких ситуациях работают. И у них была та же самая логика «Будем искать отделы сознания. Мы знаем, что сознание во время сна не работает, вот посмотрим, где же те зоны мозга, которые не работают во время сна, а работают только в бодрости». Они сделали эти эксперименты, сразу же увидели, что кора не подходит, кора работает одинаково хорошо. А нашлись специальные структуры, которые называются «базальные ганглии», нейроны в которых именно так себя и ведут. Они активны в бодрости и молчат во сне.

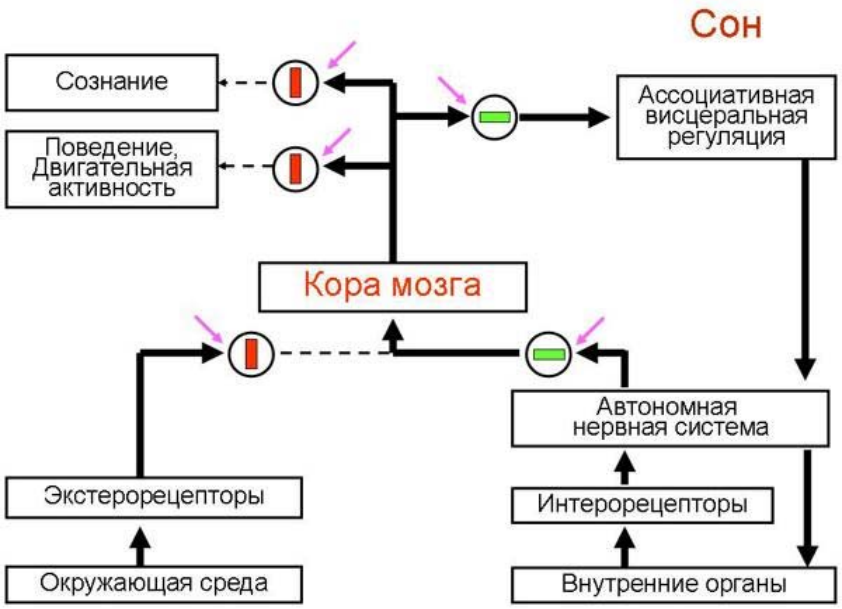
Параллельно и независимо от них мы ставили такие же электрофизиологические эксперименты и тоже показали, что действительно нейроны базальных ганглиев, которые получают все входы от коры, во время бодрствования активны. Но эта активность прекращается во время сна. Очень хорошо все сходится к тому, что если сознание у нас в мозге где-то локализованное, то это уже не кора, а вот эти структуры базальных ганглиев. Почему не соединить блоки сознания и поведения в один? Есть эксперименты, свидетельствующие, что это разные отделы мозга, которые могут работать независимо один от другого. Если у вас хватит терпения, я вам могу и об этом рассказать.

Сейчас мы перейдем к другому. Есть еще наш внутренний мир. Я имею в виду внутренние органы, которые через интерорецепторы передают сигналы в нервную систему,

которая называется автономная нервная система. Действительно, это признанный медицинский термин, потому что все считали, что да, она автономная, не имеет связи с головой, с корой мозга, и занимается внутренними маркерами. Она маленькая, нейронов там не так много. Совершенно понятно, что такой гигантский поток информации, который идет от внутренних органов, эта бедная автономная нервная система перелопатить не в состоянии. Но она в состоянии поддерживать работоспособность внутренних органов в течение небольшого времени.

Другой минус этой автономной нервной системы состоит в том, что она знает только то, что делается в том органе, за который ее кусочек ответственен. Вот есть у нее ганглий, который сидит в желудке. Он знает все про это место желудка, но совершенно не знает то, что происходит в почках, в печени или в других частях. А вот такого места, которое бы собрало сведения о всех наших внутренних органах и начало их координировать, в автономной нервной системе нет, и она, бедная, поэтому такие сложные задачи решать не может.

А во время сна у нас активно перекрываются входы из внешнего мира.



Теперь сигналы из внешнего мира в кору мозга не поступают, мы установили блок на этом пути. Но во сне на те же самые нейроны, по тем же самым волокнам, через таламус, начинают поступать сигналы, идущие от внутренних органов. Они тут обрабатываются в блоке, который мы назовем «корой мозга», но теперь результат этой обработки, естественно, не надо нам посылать на сознание и на поведение, потому что, как мы говорили, у нас внутренние органы в сознании не представлены. Эти сигналы в сознание бессмысленно посылать. Не надо их посылать и в структуры, организующие движения и поведение.

Известно, что есть специальный механизм, который блокирует выходы из двигательной коры на мото-нейроны во время сна, чтоб сигналы из коры во время сна на движение не шли. Но во время сна нужно открыть выход в некоторый отдел мозга, который назовем «ассоциативная висцеральная регуляция», и теперь обработанные в коре мозга сигналы от всех висцеральных систем будут собираться в этом блоке. Будет разрабатываться оптимальная стратегия для восстановления работоспособности того, что поломалось за прошедший день, и эти сигналы пойдут обратно во внутренние органы, будет функционировать вот эта половина картинки.

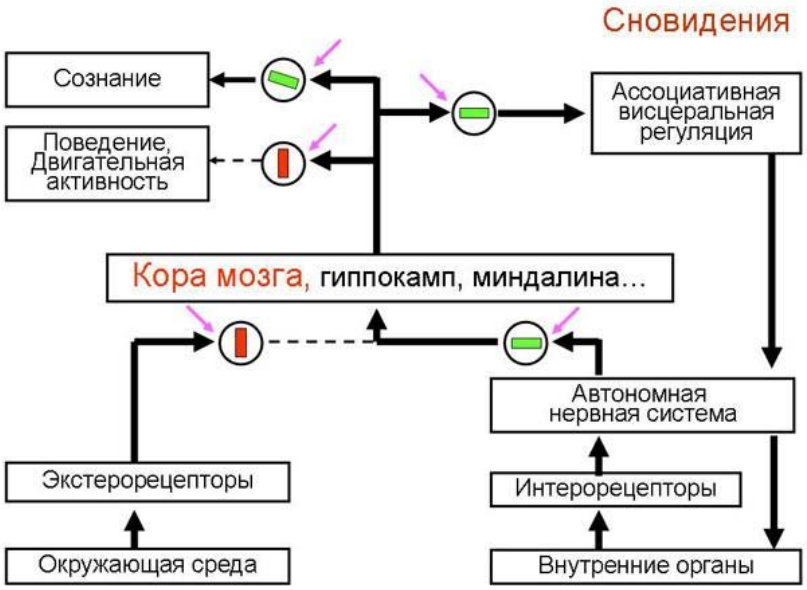
Когда все будет в порядке и все параметры всех внутренних органов будут приведены в норму, пойдет сигнал, что можно просыпаться, и система опять перекинется в состояние бодрствования. И вот так эта система будет работать в настоящем, здоровом, хорошем молодом организме. Вмиг, очень быстро переходить в бодрость, от бодрости ко сну, и все проводящие пути будут посылать свои сигналы туда, куда нужно.

Но это бывает не часто и не всегда, и чем больше наш возраст, тем больше вероятность того, что что-то тут начнет

быть не совсем в порядке. Потому что мы должны помнить, что каждое блокирующее устройство, которое стоит на этом пути, это химическое устройство. Там синтезируются определенные химические вещества, через посредничество которых может открываться или закрываться проведение по тем или иным каналам. А это уже делает их очень уязвимыми и зависимыми.

У нас чего-то хронически не хватает в еде, у нас нет какого-то вещества для того, чтобы синтезировать нужный медиатор, который работает в этой системе, его стало меньше, и этот блок стал работать хуже, и тогда, потенциально, что у нас может быть? У нас может оказаться, что сигналы, идущие от внешнего мира, начнут использоваться в управлении внутренними органами. Или может случиться, что сигналы, идущие от внутренних органов, по ошибке будут заходить в нашу зону сознания и нашу зону поведения. Вот такая прелесть тоже может быть.

Первое, что в такой системе легко объяснить, – это механизм возникновения сновидений. Достаточно представить себе, что по той или иной причине блок выхода на вентиль на пути в сознание оказался не до конца закрыт.



Связано это может быть, например, с тем, что мы были днем сильно возбуждены, не готовы спать, а все время перемалываем в голове какую-то ерунду, которая днем случилась, и поддерживаем в активности состояние сознания. И теперь, замечательным образом, сигналы, идущие от висцеральной системы, начинают забрасываться в блок сознания.

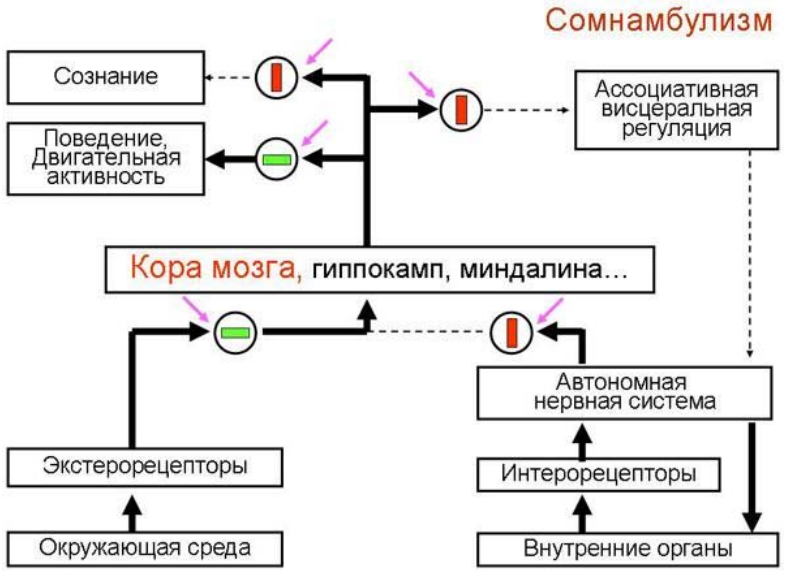
Но ведь, как я вам говорил, по нервному волокну идет электрический импульс, он не имеет ни цвета, ни вкуса, ни запаха, и никто не знает, что там записано. Знает это только тот, кто его послал, и тот, кому он пришел. А так по пути это обычный импульс. И когда этот импульс приходит в сознание, он воспринимается как сигнал, пришедший из внешнего мира. И теперь вот эти самые случайные запросы сигналов из висцеральной сферы, попадающие в отдел сознания, будут вызывать у нас некие случайные, самые странные видения. А там уже дальше работает свой механизм ассоциаций.

И здесь этот блок сознания внутри наполнен своими ассоциативными связями, в которых есть свои разрешенные пути и не разрешенные пути. Эти висцеральные сигналы запустили какую-нибудь ерунду, и она начинает себе крутиться, и крутится, пока не затухнет. Тут можно много фантазировать, но скорее всего видно, что сновидения – это момент переходного состояния, когда этот блок или не дозакрылся, или в момент пробуждения уже немножко приоткрылся. И тогда мы видим эти странные явления, называемые сновидениями.

Не только сновидения объясняются легко. Интересно рассказать про такую вещь, которая тоже всем нравится. Это явление сомнамбулизма, также связанное со сном. Действительно, удивительная штука, встречается часто у мальчиков в юности, иногда сохраняется и до взрослого

состояния, хотя во взрослом состоянии проявляется редко. Люди ночью вдруг просыпаются, встают и идут в самых разных направлениях. Могут пройти из одной комнаты в другую, могут опять лечь на коврик и заснуть. Могут выйти из квартиры и уйти на другой конец города. Когда они идут, у них открыты глаза, они не натыкаются на предметы, у них хорошо координированы движения, ничего не заподозришь.

Единственное, что они при этом не имеют никакого представления об окружающем мире, они его не воспринимают. Это единственное, чем хорош сомнамбулизм, он говорит, что сознание от движения отделено, это отдельная коробочка.



Выход на сознание у нас оказался закрыт, а поведение двигательное открылось. Мы проснулись уже, эта система работает, а сознание перекрыто.

Вопрос из зала: Красный на светофоре они не поймут?

Иван Пигарёв: Красный сигнал светофора они, скорее всего, поймут. А вот осознание этого в памяти у них не останется, и, если мы его разбудим, он абсолютно не будет помнить, куда он ходил, зачем, что он при этом ощущал. Обычно, если их разбудить, они совершенно не помнят, как они сюда попали и что с ними было.

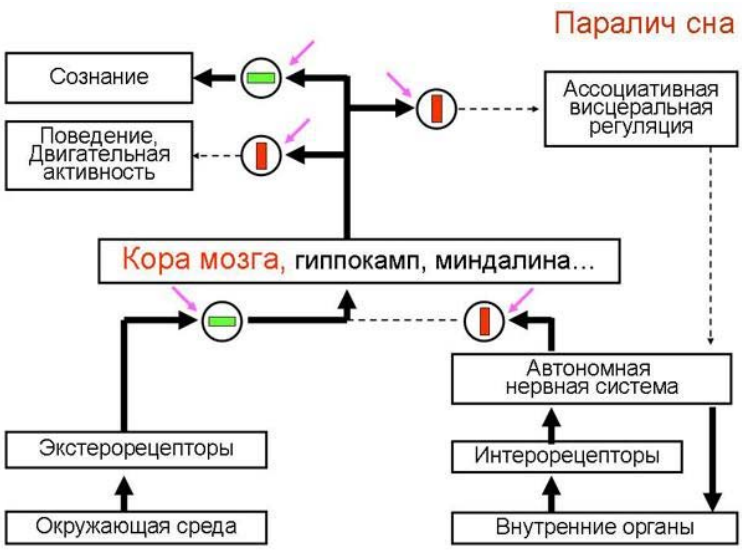
Вопрос из зала: Почему это встречается чаще в детском возрасте у мальчиков?

Иван Пигарёв: Ответ на этот вопрос надо искать в биохимии вот этого переключателя. Наверное, в каком-то возрасте недостаточно созрела та медиаторная система, которая обеспечивает блок на этом пути у мальчиков. Но тут я ничего пока не могу сказать. Я говорю, что эта схема хороша тем, что она дает теорию, дает направление поиска. А дальше, конечно, искать на этом пути можно много самого разного.

Но существует и другая вещь, прямо противоположная сомнамбулизму. Это паралич сна. Тоже очень часто встречающаяся вещь. Наверное, можно сказать, что каждый испытывал это ощущение в той или иной степени. Что здесь происходит? Прямо обратная картина, проснулся человек, у него открылся вход из внешнего мира, включилось сознание, он прекрасно воспринимает окружающую среду, все видит, все понимает, но не может пошевелить ни одной мышцей своего тела, у него полная атония, и он лежит абсолютно неподвижно. Это может длиться разное время, может пройти 10 секунд, 20 секунд, минута, до 10 минут такие эпизоды бывают. Потом постепенно восстанавливается движение, человек встает и начинает нормально двигаться.

Наша схема тоже очень просто объясняет механизм возникновения паралича сна.

У нас есть блокирующее устройство на пути от моторных команд к исполнительным мышечным механизмам. Почему оно иногда открывается больше или меньше, непонятно. Похоже, что это место очень уязвимое. Есть такая болезнь, сейчас, к сожалению, ставшая очень распространенной, называется «синдром беспокойных ног».



Люди засыпают, и вдруг в момент засыпания начинают дергаться ноги. Люди не могут никак заснуть, потому что, как только они засыпают, у них начинается дерганье ног. Вот это тоже связано с тем, что этот блок не закрывается достаточным образом, и, как только начинают поступать сюда висцеральные сигналы, они приводят к сокращениям мышц ног. Но сейчас против этого недуга найдено хорошее лекарство, которое позволяет принять таблетку и пройти это тяжелое состояние.

Ну вот, наверное, я думаю, что сейчас самое время поставить точку и начать отвечать на ваши вопросы.

Ȼɚɕɬ Ȫ. ȶRɖ заɤRɞɨ ƀRɐRɣɟ. Ł. 142ð146; 148ð179; 202ð204.

Практические задачи во многих отношениях отличаются от чисто математических задач, однако основные мотивы и ход их решения по существу одни и те же. Прикладные инженерные проблемы обычно включают в себя математические задачи. Остановимся вкратце на различиях, общих чертах и связях, существующих между этими типами задач.

1. Внушительную прикладную задачу представляет собой строительство плотины на реке. Не надо иметь никаких специальных знаний, чтобы понять эту проблему. Чуть ли не в доисторические времена, задолго до нашего современного века научных теорий, люди строили различные плотины в долине Нила и в других частях света, где урожай зависел от орошения.

Представим себе мысленно круг вопросов, связанных со строительством крупной современной плотины.

Что неизвестно? В проблеме такого рода неизвестных много: точное расположение плотины, ее геометрическая конфигурация и размеры, строительные материалы, которые будут использованы на сооружение плотины, и т. д.

В чем состоит условие? Одним кратким предложением невозможно ответить на этот вопрос, ибо условий много. В такого рода проекте необходимо удовлетворить многим важным экономическим требованиям и по мере возможностей минимально пренебрегать другими. Плотина должна обеспечить электроэнергией, давать воду для орошения и коммунальных нужд, а также контролировать уровень воды при паводке. С другой стороны, она должна возможно меньше нарушать навигацию и условия жизни ценной рыбы, а также красоту природы и т. д. И, разумеется,

она должна быть построена с минимальной стоимостью и в максимально сжатые сроки.

Что дано? Количество данных, которые желательно было бы иметь, огромно. Нам нужны топографические данные о районе реки и ее притоков; необходимы геологические сведения, что важно для создания устойчивых фундаментов и для выяснения возможностей утечки воды и выявления наличия строительных материалов; метеорологические данные о количестве ежегодных осадков и уровне паводков; экономические данные о стоимости земельных участков, подлежащих затоплению, данные о стоимости строительных материалов, рабочей силы и т. д.

Из нашего примера видно, что по сравнению с математической задачей в прикладной задаче неизвестные данные и условия составляют более сложный комплекс и менее четко очерчены.

2. Для того чтобы решить какую-нибудь задачу, мы должны иметь определенный запас ранее накопленных знаний. В распоряжении современного инженера имеются современная техника, к его услугам – научная теория сопротивления материалов, собственный опыт и специальная техническая литература, в которой накоплен огромный инженерный опыт. Мы не можем здесь вникать в сущность этих специализированных сведений, но мы можем попытаться представить себе мысли древнеегипетского строителя плотины.

Ему, конечно, приходилось видеть различные другие, возможно, меньшие плотины: земляные или каменные насыпи, сдерживающие воду. Он наблюдал, как паводок с наносными породами обрушивался на плотину. Возможно, ему приходилось принимать участие в починке трещин и ликвидировать последствия от размыва насыпи паводком.

Может быть, ему приходилось видеть, как под напором потока воды разрушается плотина. Он, несомненно, слышал рассказы о плотинах, выдержавших испытания веков или принесших бедствия из-за неожиданно образовавшихся брешей. Быть может, он мысленно рисовал себе картину давления воды реки на поверхность плотины и ее внутреннее напряжение и сжатие.

У строителя-египтянина, однако, не было точных, количественных, научных представлений о давлении жидкости или о деформациях и напряжениях внутри твердого тела. Такие представления занимают существенное место в научной подготовке современного инженера. Инженер, однако, тоже пользуется обширными сведениями, не получившими еще совсем точного и научного освещения, его сведения о разрушительной силе течения воды, о переносе ила и об упругости и других менее четко очерченных свойствах твердых тел представляют собой знания скорее эмпирического характера.

Из нашего примера видно, что по сравнению с математической задачей в прикладной задаче понятия и те знания, которые необходимы для ее разрешения, имеют более сложный характер и менее четко определены.

3. В прикладных задачах неизвестные, данные, условие, понятия, необходимые предварительные знания – все сложнее и менее определенно, чем в чисто математических задачах. Это очень существенное различие, пожалуй, даже главное различие, и оно, несомненно, влечет за собой и другие различия. Однако основные мотивы и приемы решения оказываются одинаковыми для задач обоих типов.

Существует распространенное мнение, что прикладные проблемы требуют большего опыта, чем математические задачи. Возможно, это и так. Однако очень вероятно, что

различие заключается в природе требуемых знаний, а не в нашем отношении к задаче. Решая задачу того или иного типа, мы должны опереться на свой опыт решения подобных задач и часто задавать такие вопросы: ***не встречалась ли вам раньше эта задача? Хотя бы в несколько другой форме? Известна ли вам какая-нибудь родственная задача?***

При решении математической задачи мы исходим из очень четких понятий, систематизированных в нашем уме. При решении же прикладной проблемы нам часто приходится исходить из довольно туманных представлений. Позже уточнение этих представлений может стать существенной частью задачи. Так, например, сегодня медицина в состоянии сдержать распространение инфекционных заболеваний более эффективно, чем во времена до Пастера, когда представление об инфекционных болезнях было довольно туманным. ***Приняли ли вы во внимание все существенные понятия, содержащиеся в задаче?*** Это очень хороший вопрос для задач всех типов, но использование его зависит в значительной мере от характера понятий, входящих в задачу.

В точно сформулированной математической задаче все данные и все пункты условия существенны и должны быть учтены. В прикладных проблемах имеется обилие данных и условий. Мы учитываем столько их, сколько возможно, но некоторыми мы вынуждены пренебрегать. Возьмите случай со строителем большой плотины. Он принимает во внимание общественные интересы и учитывает важные экономические соображения, но он вынужден пренебрегать мелкими претензиями и обидами. Количество данных в его проблеме, строго говоря, неисчерпаемо. Ему, например, желательно было бы иметь кое-какие дополнительные сведения о геологической природе грунта, на котором должен быть

уложен фундамент, но в конце концов он вынужден прекратить сбор геологических данных, хотя в этом вопросе неизбежно останется ряд неясностей.

Все ли данные вы использовали? Все ли условия использовали? При решении чисто математических задач нельзя обойтись без этих вопросов. Однако при решении прикладных проблем эти вопросы следует ставить в несколько видоизмененной форме: все ли данные вами использованы, которые ***могли бы заметно содействовать решению?*** Использовали ли вы все условия, которые могут ***заметно повлиять на решение?*** Мы собираем все доступные данные, имеющие отношение к нашей проблеме. Если необходимо, собираем дополнительные сведения, но в конце концов приходится прекращать сбор сведений. На каком-то этапе мы должны подвести черту. Невозможно не пренебречь кое-чем. «Волков бояться – в лес не ходить». Довольно часто накапливаются излишние данные, которые не имеют заметного влияния на окончательный вид решения.

4. Конструкторы древнеегипетских плотин при толковании своего опыта должны были положиться на собственный здравый смысл, больше им не на что было полагаться. Современный инженер не может положиться лишь на здравый смысл, в особенности, если его проект отличается смелым новаторством. Он обязан рассчитать сопротивление проектируемой плотины, точно предусмотреть внутреннее напряжение и сжатие плотины. Для этого ему приходится обращаться к теории деформации (которая довольно точна для цементных конструкций). Чтобы использовать эту теорию на практике, ему потребуется произвести множество математических расчетов – прикладная инженерная задача приводит к математической задаче.

Такая математическая задача не может быть рассмотрена здесь, ибо она слишком узкотехнического характера; ограничимся лишь общими замечаниями. При составлении и решении математических задач, полученных в ходе решения прикладной задачи, мы обычно довольствуемся приближенным решением. В прикладной проблеме мы вынуждены пренебрегать некоторыми второстепенными данными и условиями. Поэтому разумно допустить некоторые незначительные погрешности в расчетах, особенно если в упрощении выгадываем то, что проигрываем в точности.

5. О приближенных решениях можно было бы рассказать много интересного, заслуживающего внимания широкого круга читателей. Однако мы не можем предполагать у читателя какой-либо специальной математической подготовки и поэтому ограничимся лишь одним понятным, доступным и поучительным примером.

Большое практическое значение имеет изготовление географических карт. При создании карт мы часто считаем, что Земля – шар. Между тем ведь это приближенное допущение, а не точная истина. Поверхность Земли не представляет собой математически заданной поверхности. Если мы примем, что Земля представляет собой шар, нам будет значительно легче сделать географическую карту. От упрощения мы очень много выигрываем, а в точности не очень теряем. В самом деле, представим себе большой глобус, у которого форма точно такая же, как у Земли. Диаметр этого шара в экваторе 7,5 ***м***. Расстояние между полюсами такого глобуса меньше 7,5 ***м***, ибо земля сплюснута у полюсов, но разница составляет всего лишь около 2,5 ***см***. Таким образом, шар представляет собой хорошее практическое приближение.
<…>

Продвижение и достижение. Вы продвинулись в решении задачи? В чем суть вашего достижения? Вопросы такого рода мы можем задавать как себе, когда мы сами решаем задачу, так и учащемуся, решающему ее под нашим руководством. Мы привыкли более или менее уверенно судить о продвижении и о достижениях в конкретных случаях. Но перейти от таких конкретных случаев к обобщенному изложению вопроса очень нелегко. Однако, если мы желаем изложить учение об эвристике более или менее полно, мы должны попытаться уяснить себе, из чего состоит в общих чертах продвижение и достижение при решении задач.

1. Чтобы решить какую-нибудь задачу, мы должны иметь определенный запас знаний в той области, к которой наша задача относится, и нам приходится собирать и отбирать все имеющиеся у нас сведения, связанные с нашей задачей. Эти сведения до начала решения были лишь потенциальными. Наше понимание задачи значительно полнее в конце, чем оно было, когда мы только приступали к ней; что добавилось? То, что нам удалось вспомнить. Для того чтобы решить задачу, нам приходится припоминать различные существенные факты. Если наша задача математическая, приходится вспомнить ранее решенные задачи, знакомые теоремы, определения. Восстановление в памяти сведений, относящихся к задаче, можно назвать *мобилизацией*.

2. Однако, чтобы решить какую-нибудь задачу, недостаточно вспомнить изолированные сведения, мы должны комбинировать эти факты, и их комбинация должна быть хорошо приспособлена к решению имеющейся у нас задачи. Таким образом, при решении математической задачи мы должны объединить все, что мы вспомнили, и на этом основании выдвинуть такой отдельный довод доказательства,

который был бы хорошо приспособлен к целому. Эту работу по приспособлению и комбинированию фактов можно назвать *организацией*.

3. По существу, отделить мобилизацию от организации невозможно. Сосредоточивая все свое внимание на задаче, мы припоминаем лишь те факты, которые более или менее связаны с нашей задачей, и соединяем и организуем лишь то, что вспомнили и мобилизовали.

Мобилизация и организация лишь два *аспекта* одного и того же сложного процесса, имеющего еще много других аспектов.

4. Другой аспект продвижения в работе заключается в том, что *характер нашего понимания задачи меняется.* Понимание задачи у нас значительно полнее в конце, чем оно было вначале, когда мы только приступали к решению, ибо добавилось все, что мы вспомнили, обработали и приспособили к решению. Желая перейти от первоначального понимания данной задачи к более точному, более полному ее пониманию, мы подходим к ней с разных точек зрения, рассматриваем ее с разных сторон. Едва ли мы могли бы продвинуться в решении без такого видоизменения задачи.

5. Цель вырисовывается все более и более отчетливо по мере приближения к ней. А когда мы видим цель яснее, мы считаем, что мы к ней ближе. По мере того как изучение задачи продвигается, мы все яснее и яснее можем предвидеть, что следует предпринять для решения задачи и каким образом надо действовать. Если удача нам сопутствует, то при решении математической задачи мы сможем предусмотреть возможность использования известной нам теоремы, полезность рассмотрения ранее решенной задачи, необходимость дополнительного уточнения значения того или иного математического термина. Такие предвидения не

являются безошибочными, они лишь до известной степени правдоподобны. Полное подтверждение правильности своего предвидения мы получаем с окончательным решением, а до этого мы часто вынуждены довольствоваться более или менее правдоподобной догадкой. Нам никогда не удалось бы прийти к точному и окончательному решению, не прибегнув к соображениям лишь правдоподобного и предварительного характера. Нам необходимо эвристическое рассуждение.

6. В чем заключается продвижение к решению? В мобилизации и организации знаний, ведущих нас к решению, в эволюции нашего понимания задачи, во все возрастающем предвидении тех шагов, которые приведут к окончательному обоснованию решения. Мы можем продвигаться вперед постоянно, но незаметно, потом вдруг продвинуться резко семимильными шагами. Стремительное продвижение в решении называется счастливой Идеей (bright idea), хорошей, удачной, внезапно осенившей вас мыслью (в немецком языке есть более специальный термин *Einfall)*. Что такое счастливая идея? Резкое и очень существенное изменение в нашей точке зрения на задачу, стремительная перестройка характера нашего понимания задачи, только что возникшее уверенное предвидение шагов, необходимых для решения задачи.

7. Вышеизложенные соображения служат хорошим фоном для вопросов и советов нашей таблицы.

Многие из этих вопросов и советов направлены непосредственно на мобилизацию наших, ранее приобретенных Знаний: Не встречалась ли вам эта задача ранее? Или подобная задача, но в несколько другой форме? Не знаете ли вы какой-нибудь похожей задачи? Не знаете ли вы теоремы, которая могла бы оказаться полезной? Рассмотрите неизвестное!

И постарайтесь припомнить знакомую задачу с тем же или сходным неизвестным.

Бывает такое характерное состояние, при котором нам кажется, что нами собраны нужные сведения и что наши усилия направлены на лучшую организацию того, что мы мобилизовали: вот задача, которая похожа на вашу и уже решена. Сумеете ли вы воспользоваться ею? Сумеете ли вы применить ее результат? Сумеете ли использовать ее метод? Сумеете ли ввести какой-нибудь вспомогательный элемент, чтобы можно было воспользоваться этой задачей?

Есть другие типические ситуации, при которых мы думаем, что собранные нами сведения недостаточны. Мы задумываемся – чего же не хватает? *Все ли данные мы использовали? Все ли условие? Приняли ли мы во внимание все существенные понятия, содержащиеся в задаче?*

Некоторые вопросы непосредственно направлены на *видоизменение* задачи: *сможете ли вы изложить задачу иначе? А еще иначе?* Многие вопросы имеют своей целью варьировать задачу специальными приемами, например возвращением к определениям или пользуясь аналогией, обобщением, специализацией, разложением и обобщением.

Иные же вопросы предлагают проверку, чтобы предвидеть характер решения, которое мы хотим получить: возможно ли удовлетворить условию? Достаточно ли условие для определения неизвестного? Или недостаточно? Или чрезмерно? Или противоречиво?

В вопросах и советах нашей таблицы нет непосредственных упоминаний о *счастливой идее*, но по существу они все связаны с ней.

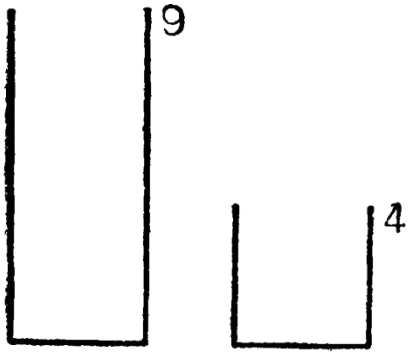
Вникая в суть задачи, мы создаем благоприятные условия для возникновения счастливой идеи, составляя план, мы стараемся вызвать ее. Вызвав счастливую идею, осуществляем

ее в решении, а потом при изучении хода и результата решения мы стараемся максимально использовать ее[3].

<…>

Работать от конца к началу. Если мы хотим понять поведение человека, нужно сравнить его с поведением животного. Животные тоже «имеют проблемы» и «решают задачи». За последние десятилетия экспериментальная психология существенно продвинулась в области исследования деятельности различных животных при «решении задач». У нас нет возможности рассматривать эти исследования, но мы опишем один простой и поучительный опыт, и наше описание послужит своего рода пояснением к методу анализа или, как мы его называем, методу «работать от конца к началу». Этот метод, кстати сказать, рассматривается в другом месте данной книги в статье, посвященной П а п п у – человеку, которому мы обязаны описанием этого метода.

1. Попытаемся найти ответ на следующий замысловатый вопрос: *каким образом можно принести из реки ровно шесть литров воды, если для измерения ее имеется только два ведра – одно емкостью в 4 л, другое в 9 л?* Представим себе те орудия, с которыми нам придется работать: два ведра. *(Что дано?)* В воображении мы представляем себе два цилиндрических сосуда с равными основаниями, высоты которых относятся как 9 : 4 (см. фиг. 18).



Фиг. 18.

Если бы на боковых поверхностях сосудов были равномерные шкалы из горизонтально нанесенных линий, по которым мы могли бы определить высоту уровня воды, то

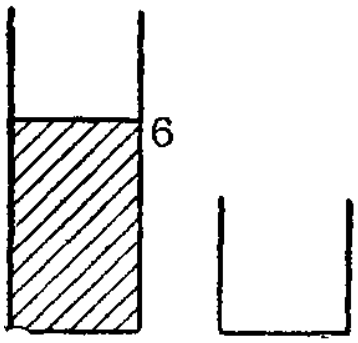
[3] Некоторые вопросы, затронутые в этой статье, более подробно рассмотрены в статье автора в Acta Psychologica, vol. 4, 1938, pp. 113–170. (Примечание автора. – ***Ред.***)

наша задача оказалась бы легкой. Однако такой шкалы нет, и поэтому мы еще очень далеки от решения.

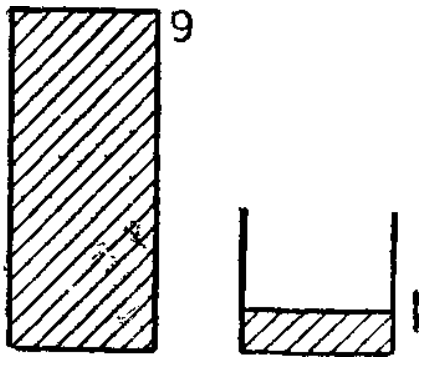
Нам еще неизвестно, как точно отмерить 6 *л*. А могли бы мы получить какой-нибудь другой объем? (*Если не удается решить данную задачу, попытайтесь сначала решить сходную. Сможете ли вы вывести что-нибудь полезное из имеющихся данных?)* Давайте же повозимся немного и все-таки предпримем что-нибудь. Мы могли бы наполнить большой сосуд, а затем из него налить меньший сосуд. Так мы сумеем получить 5 *л*. Сможем ли мы получить 6 *л*? Начнем сначала. У нас два сосуда, мы можем...

Теперь мы действуем так, как обычно делают большинство людей, которые пытаются решить эту головоломку. Мы начинаем с двух пустых сосудов, пробуем так и этак, опорожняем и наполняем, а потерпев неудачу, начинаем снова, пробуя другой вариант. Мы *работаем от начала к концу*, от данного исходного положения к желанной конечной цели, от данных к неизвестному. После многократных попыток мы можем случайно найти решение.

1. Но очень способные люди или те, которые имели возможность на уроках математики изучить нечто большее, чем лишь избитые математические приемы, не станут тратить слишком много времени на такие попытки, а «переворачивают задачу» и начинают работать от конца к началу.



Фиг. 19.



Фиг. 20.

Что от нас требуется? *(Что неизвестно?)* Представим себе возможно яснее окончательное положение, к которому мы стремимся.

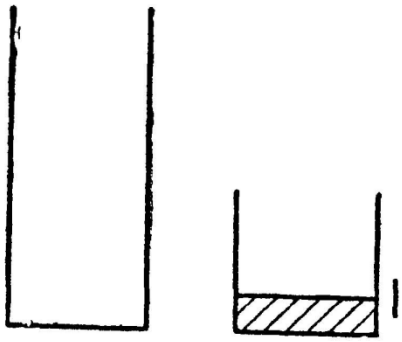
Представим себе, что перед нами большой сосуд с шестью литрами воды, а меньший сосуд пустой, как это изображено на фигуре 19. (Будем *исходить из того, что требуется сделать*, и *считать, что искомое уже найдено*, говорит П а п п.)

Из какого предшествующего результата могли бы мы получить желаемый окончательный результат, показанный на фигуре 19? (Выясним, из *какого предшествующего вывода мог бы быть получен желаемый вывод*, говорит П а п п.)

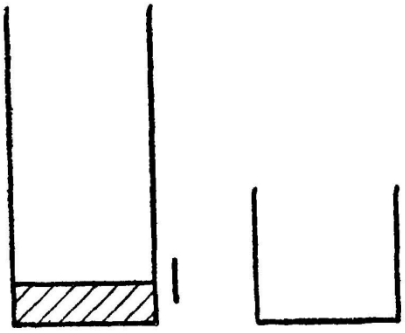
Мы могли бы, конечно, полностью наполнить большой сосуд, т. е. налить в него 9 *л*. Но в этом случае надо суметь отлить точно 3 *л*. Чтобы сделать это, в меньшем сосуде у нас должен быть только 1 *л*! В этом вся идея (см. фиг. 20). (Этот шаг вовсе не простой, и лишь немногие смогут сделать его сразу. В самом деле, правильно оценив значение этого шага, мы по сути дела в общих чертах уже имеем решение, описываемое ниже.)

Но каким образом можно прийти к положению, указанному на фигуре 20? (Выясним еще раз, *как из данного положения получить положение, которое предшествовало ему.)* Поскольку количество воды в реке для нас практически неограниченно, то положение на фигуре 20 по существу может быть сведено к тому, которое изображено на фигуре 21 или на фигуре 22.

Легко заметить, что если получить какое-либо одно из положений, изображенных на фигурах 20, 21, 22, то и любое другое из них тоже можно получить. Но не так уж легко получить такое положение, как на фигуре 22, если *оно не встречалось нам раньше*, если мы не сталкивались с ним случайно в наших предварительных попытках.

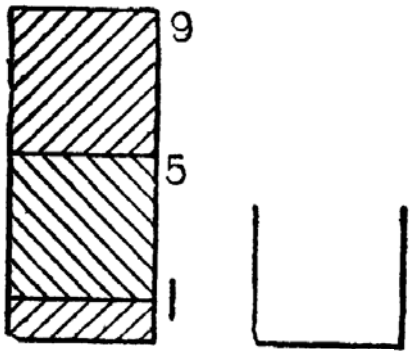


Фиг. 21.



Фиг. 22.

Когда мы возились с этими двумя сосудами, у нас, возможно, получалось нечто похожее, и теперь кстати будет вспомнить, что положение на фигуре 22 может возникнуть, например, так, как подсказывает фигура 23.



Фиг. 23.

Мы полностью наполняем большой сосуд и отливаем 4 л в меньший сосуд, а из него выливаем воду в реку. Это мы проделываем дважды. Таким образом, мы *в конце концов получили нечто известное* (по словам П а п п а), и, следуя путем анализа, *работая от конца к началу*, мы нашли правильную последовательность действий.

Правда, мы открыли правильную последовательность в обратном порядке, но остается лишь *обратить порядок этого процесса и начинать с того пункта, к которому мы пришли в конце анализа* (как говорит П а п п). Сначала мы выполняем те действия, которые подсказываются фигурой 23, и приходим к фигуре 22, затем мы переходим к фигуре 21, *затем к 20 и, наконец, к фигуре 19.* Возвращаясь по пройденному пути, мы в конце концов добиваемся того, что от нас требовалось.

2. Открытие метода анализа греки приписывают Платону. Возможно, это и не совсем достоверно, но во всяком случае, если этот метод не был изобретен Платоном, то какой-то греческий ученый счел нужным приписать это изобретение гению философа.

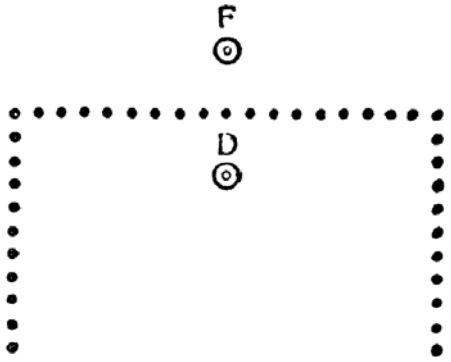
В этом методе есть нечто незаурядное, есть и известная психологическая трудность: приходится стать спиной к цели, уходить от желаемого, а не идти к нему прямой дорогой, приходится работать от конца к началу. После того как мы раскрыли правильную последовательность действий, наши мысли должны следовать в порядке, противоположном действительному решению.

К такому обратному порядку появляется отрицательная психологическая реакция, которая может помешать даже способному учащемуся понять этот метод, если он неумело преподносится.

Однако, чтобы решить конкретную задачу, работая от конца к началу, не требуется быть гением; всякий обладающий здравым смыслом человек может сделать это. Мы сосредоточиваем все свое внимание на желаемом результате, мы умозрительно представляем себе то положение, к которому мы хотели бы прийти. Из какого предшествующего положения можно прийти к желаемому положению? Постановка такого вопроса вполне естественна, а поставить его и значит работать от конца к началу. Решение совсем легких задач, естественно, может привести к тому, что мы будем решать от конца к началу (см. П а п п, 4).

Работа от конца к началу есть процесс, подсказанный здравым смыслом и доступный каждому. Вряд ли можно сомневаться в том, что им пользовались и математики и нематематики до Платона. Формулировка этого процесса в обобщенной форме и характеристика его как процесса, полезного для решения математических и нематематических проблем, возможно, были достойны именно гения Платона.

3. А теперь обратимся к психологическому эксперименту, если только переход от Платона к собакам, курам и шимпанзе не покажется читателям слишком резким.



Фиг. 24.

Как показано на фигуре 24, забор образует три стороны прямоугольника, четвертая сторона остается открытой. С одной стороны забора, в точке *D*, мы пускаем собаку. По другую сторону, в точке *F*, кладем пищу. Добраться до пищи для собаки довольно легкая задача. Она сначала присядет, как будто хочет прыгнуть непосредственно к ней, но затем быстро поворачивается, бежит, огибает забор и бросается прямо к пище. Однако иногда решение не так просто дается, в особенности, если точки *F* и *D* близки друг к другу. Собака может потерять некоторое время, будет лаять, царапаться или безуспешно прыгать на забор раньше, чем ее осенит «счастливая идея» (как мы бы сказали) и она побежит вокруг забора.

Интересно сравнить поведение различных животных, поставленных на место собаки. Задача очень проста для шимпанзе или четырехлетнего ребенка (для которого игрушка может быть даже лучшей приманкой, чем пища). Задача, однако, оказывается удивительно трудной для курицы, которая будет суетливо бегать взад и вперед на своей стороне забора и может потерять много времени прежде, чем доберется до корма, если она вообще доберется до него. Впрочем, после долгой беготни ей это может удаться случайно.

4. На основании лишь одного простого эксперимента, который мы весьма схематично изложили, не следует создавать никаких серьезных теорий. Будет, однако, полезно подметить очевидные аналогии, если мы готовы проверить их вторично и еще раз обдумать сделанные выводы.

При решении проблемы любого рода мы стараемся обойти препятствия. Наш эксперимент имеет как бы символическое

значение. Курица в своих действиях похожа на тех людей, которые предпринимают многократные попытки, ошибаются и путаются и в конце концов по счастливой случайности успешно доводят решение до конца. Они сами не могут как следует объяснить причины своего успеха. Собака, которая царапалась, лаяла и прыгала, перед тем как обежать забор, решила свою задачу примерно с таким же успехом, с каким мы решили свою задачу с двумя сосудами. То, что мы вообразили шкалу, показывающую уровень в сосудах, похоже на почти бесполезное царапанье. Полезным, пожалуй, было только то, что мы поняли, легко найти искомое не получится, что оно скрыто гораздо глубже. Мы тоже пытались решить задачу непосредственно, решать от начала к концу и лишь позже пришли к необходимости изменить направление. Только после этого мы стали решать задачу от конца к началу. Хотя на самом деле это может быть вовсе и не так, но создается впечатление, что собака, которая после краткого «рассмотрения обстановки» обежала забор и помчалась к пище, обладает большей проницательностью, чем мы.

Нет, даже курицу не следует винить за несообразительность. Ведь определенно трудно бывает, когда надо отвернуться от цели, уходить от нее, продолжать действовать, не видя постоянно цели впереди, сворачивать с прямого пути. Между затруднениями курицы и нашими имеется явная аналогия.

Разделите условие на части. Наша первая обязанность – понять стоящую перед нами задачу. Поняв задачу в целом, мы вникаем затем в детали. Мы изучаем главные части задачи – неизвестное, данные, условие, каждую часть в отдельности. Когда эти части хорошо запечатлелись у нас в памяти, но в голову еще не пришла полезная идея, мы

начинаем вникать в дальнейшие подробности, рассматриваем различные данные, причем мы рассматриваем каждое данное в отдельности. Поняв условие в целом, *разделяем условие на части* и рассматриваем каждую в отдельности.

Теперь нам ясно значение предложенного совета. Он должен толкнуть нас на шаг, который следует предпринять, чтобы четко уяснить себе задачу и, если необходимо, вникнуть во все более и более тонкие детали ее. Этот шаг ведет к разложению и составлению новых комбинаций.

Разделите условие на части. Постарайтесь записать их. Этот совет нам часто представляется возможным предложить при составлении уравнений.

Разложение и составление новых комбинаций представляют собой важные мыслительные процессы.

Вы рассматриваете некоторый объект, интересующий вас или возбуждающий ваше любопытство: дом, который вы намерены взять внаем, важную, но загадочную телеграмму, любой предмет, назначение и происхождение которого вы не можете объяснить, любую задачу, которую вы хотите решить. Вы имеете некоторое представление об этом объекте как о целом, но, возможно, ваше представление лишено ясности и определенности. Вас поражает какая-либо частная деталь, вы сосредоточиваете на ней свое внимание. Затем вы переносите свое внимание на другую деталь, затем на третью и т. д.

Вам в голову может прийти сопоставить несколько деталей, рассматривая их в различных комбинациях; через некоторое время вы снова возвращаетесь ко всему объекту как к целому, но воспринимаете его уже по-иному. Вы разлагаете целое на части, а затем снова объединяете части в целое, которое вам теперь представляется уже в ином свете.

1. Начав вдаваться в детали, вы можете в них запутаться. Обилие частностей или чрезмерная детальность их рассмотрения отягощают мышление. Они могут помешать вам обратить достаточное внимание на главное или вообще увидеть это главное. Подумайте о человеке, который из-за деревьев не увидел леса.

Конечно, нам не хочется тратить время на ненужные детали; мы должны направить наши усилия на выяснение существа дела. Трудность здесь в том, что мы не знаем заранее, какие именно детали в конце концов окажутся необходимыми.

Поэтому прежде всего попытаемся воспринять задачу в целом. Поняв постановку задачи, мы в большей степени сможем судить о том, какие частности окажутся наиболее существенными.

Исследовав их, мы в состоянии судить и о том, какие дальнейшие детали заслуживают подробного рассмотрения.

Мы должны входить в детали и разлагать задачу постепенно, но лишь до такой степени, какая действительно необходима.

Конечно, учитель не может ожидать, что с этой точки зрения все учащиеся будут действовать разумно. Напротив, некоторые из них имеют глупое и вредное обыкновение начинать заниматься деталями, не поняв всю задачу в целом.

2. Мы рассмотрим сейчас математические задачи «на нахождение».

Уяснив себе задачу в целом, то главное, что в ней содержится, и цель, которую она ставит перед нами, мы намерены перейти к деталям. С чего нам начать?

Почти во всех случаях разумно начинать с рассмотрения главных элементов задачи, т. е. неизвестного, данных и условия. Почти всегда рекомендуется начинать детальное

рассмотрение задачи с вопросов: *Что неизвестно? Что дано? В чем состоит условие?*

Как мы должны поступить, желая исследовать дальнейшие детали? Очень часто оказывается полезным исследовать каждую в отдельности, *разделить условие на части* и рассмотреть отдельно каждую часть.

Может оказаться необходимым, особенно, если задача трудна, осуществить ее дальнейшее разложение и рассмотреть возникающие при этом новые детали. Но иногда приходится *возвращаться к определению* некоторого понятия, вводить новые элементы, фигурирующие в этом определении, и заниматься исследованием этих вновь введенных элементов.

3. Разложив задачу, мы стараемся вновь объединить ее элементы, но уже каким-то новым образом. В частности, можно попытаться составить из элементов задачи новую, более легкую задачу, которую, возможно, нам удастся использовать в качестве вспомогательной.

Конечно, объединить вновь части, на которые разложена задача, можно, составляя из них самые различные комбинации.

Трудная задача требует исключительных, оригинальных комбинаций, найти которые нелегко. В оригинальности комбинации проявляется изобретательность решающего задачу. Однако существуют некоторые обычные и сравнительно простые виды комбинаций, которые оказываются достаточными в случае более или менее простых задач и которые должны быть нам знакомы. К ним-то и нужно прибегнуть прежде всего, даже если в конце концов придется применить и не столь очевидные средства.

Ниже приводится формальная классификация, охватывающая наиболее обычные и часто применяемые

комбинации. Чтобы преобразовать данную задачу в некоторую новую, можно:

1) сохранить неизвестное, изменив остальное (данные и условие);

2) сохранить данные, изменив остальное (неизвестное и условие),

или, наконец,

3) изменить и неизвестное и данные.

Ниже мы рассмотрим эти случаи.

[Случаи 1) и 2) частично совпадают. Действительно, можно оставить прежними и неизвестное и данные и преобразовать задачу, изменив лишь условие. Например, следующие две задачи, хотя и явно эквивалентны, но не тождественны:

Построить равносторонний треугольник по данной его стороне.

Построить равноугольный треугольник по данной его стороне.

Разница в формулировках двух задач, незначительная в этом примере, может оказаться существенной в других случаях. Рассмотреть случаи подобного рода, несмотря на их важность, здесь мы не имеем возможности. (Ср. «Вспомогательная задача», п. 7, последнее замечание.)]

4. *Сохранение неизвестного* при изменении данных и условия часто дает полезное преобразование исходной задачи. Совет «рассмотрите неизвестное» рекомендует сопоставить задачи с одним и тем же неизвестным. Мы можем попытаться воскресить в памяти задачу подобного рода, решенную прежде.

Постарайтесь вспомнить знакомую задачу с тем же или подобным неизвестным. Если нам не удалось вспомнить такую

задачу, мы можем попытаться ее придумать: нельзя ли придумать другие данные, из которых можно было бы определить неизвестное?

Чем теснее связана новая родственная задача с исходной, тем вероятнее, что она окажется полезной. Поэтому, сохраняя неизвестное, мы пытаемся сохранить также некоторые данные и некоторую часть условия, изменяя как можно меньше лишь одно или два данных и небольшую часть условия. Лучший метод состоит в том, что мы что-то опускаем, ничего не прибавляя. Мы сохраняем неизвестное, *оставляем лишь часть условия*, *отбрасывая оставшуюся часть*, не вводя в условие ничего нового и не добавляя данных. Примеры и замечания к этому случаю даны ниже, в пунктах 7, 8.

5. *Сохранив данные*, мы можем попытаться ввести новое неизвестное, найти которое оказалось бы легче, чем разыскать первоначальное неизвестное. Это неизвестное должно определяться первоначальными данными; именно такое новое неизвестное мы и имеем в виду, задавая вопрос: *нельзя ли извлечь что-либо полезное из данных?*

Заметим, что здесь желательны две вещи. Во-первых, новое неизвестное должно быть *доступнее*, т. е. найти его из данных должно быть легче, чем первоначальное неизвестное. Во-вторых, новое неизвестное должно оказаться *полезным*, т. е., будучи найдено, оно должно принести определенную пользу для разыскания первоначального неизвестного. Короче говоря, новое неизвестное должно быть подобно камню, лежащему посредине ручья. Этот камень ближе ко мне, чем другой берег, на который я хочу перебраться. Поэтому, ступив сначала на камень, я оказываюсь ближе к своей окончательной цели.

Новое неизвестное должно оказаться и доступным и полезным; однако на практике нам часто приходится довольствоваться меньшим. Если нет ничего лучшего, из

данных стоит извлечь хоть что-нибудь, что имеет шансы оказаться полезным.

Разумно также попытаться извлечь пользу из введения нового неизвестного, тесно связанного с первоначальным, хотя бы, на первый взгляд, и не кажущегося доступнее.

Так, например, решая задачу о диагонали прямоугольного параллелепипеда (п. 8), мы можем в качестве нового неизвестного ввести диагональ грани. Мы поступаем так, либо *зная*, что с помощью диагонали грани мы можем найти диагональ параллелепипеда (как в п. 10), либо видя, что диагональ грани найти легко, и *подозревая*, что она окажется полезной при решении исходной задачи. (Ср. «Все ли данные вами использованы?», п. 1.)

Если задача состоит в построении окружности, нам нужно найти две вещи – ее центр и ее радиус; можно сказать, что задача состоит из двух частей. В некоторых случаях одна часть оказывается доступнее другой; поэтому, во всяком случае, эту возможность целесообразно рассмотреть: *нельзя ли решить часть задачи?*

Задавая себе этот вопрос, мы взвешиваем шансы: стоит ли сосредоточить все внимание именно на центре окружности или именно на радиусе, выбрав либо первое, либо второе в качестве нового неизвестного? Вопросы подобного рода часто приносят пользу. В сложных или трудных задачах идея, приводящая к решению, часто состоит в выделении из задачи более доступной, но существенной части.

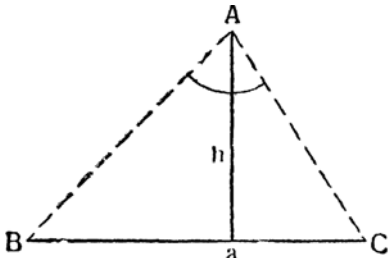
6. *Изменяя и неизвестное и данные*, мы в большей степени отходим в сторону от первоначальных намерений, чем в предыдущих случаях. Естественно, это не очень-то нам нравится; мы ощущаем опасность совсем потерять из виду первоначальную задачу. Однако мы вынуждены идти на

столь значительные изменения, если менее радикальные не дали ничего доступного и полезного. Иногда новая задача, стоящая довольно далеко от исходной, привлекает нас своей доступностью.

Нельзя ли изменить неизвестное, или данные, или, если необходимо, и то и другое так, чтобы новое неизвестное и новые данные оказались ближе друг к другу?

Интересный способ изменения и неизвестного и данных состоит в перемене ролей неизвестного и одного из данных. (см. «Нельзя ли использовать полученный результат?», п. 3.)

7. *Пример.* Построить треугольник по данной стороне *a*, высоте *h*, опущенной на эту сторону, и углу α, противолежащему этой стороне.



Фиг. 25.

Что неизвестно? Треугольник.

Что дано? Отрезки *a* и *h* и угол α.

Если мы в какой-то степени знакомы с геометрическими задачами на построение, мы, конечно, постараемся свести задачу к построению некоторой точки. Строим отрезок *BC* заданной длины *a*, теперь нам остается лишь найти вершину *A* искомого треугольника, противолежащую стороне *BC* (фиг. 25).

Итак, мы пришли к такой новой задаче:

Что неизвестно? Точка A.

Что дано? Отрезок *h*, угол α и две фиксированные на плоскости точки *B* и *C*.

В чем состоит условие? Расстояние точки *A* от прямой *BC* должно быть равным *h*, а угол *BAC* должен быть равным α. Таким образом, мы преобразовали исходную задачу, изменив как неизвестное, так и данные. В самом деле, новое неизвестное – точка, тогда как старым неизвестным являлся треугольник. Некоторые данные одни и те же в обеих задачах – отрезок *h* и

угол α, однако теперь мы имеем дело с данными точками *B* и *C*, тогда как в исходной задаче была задана длина *a*.

Новая задача достаточно проста. Подвести нас к идее ее решения может следующее рассуждение.

Разделите условие на части. Условие состоит из двух частей, в одной из которых существенную роль играет данное *h*, а в другой – α. Требуется, чтобы искомая точка:

(I) находилась на расстоянии *h* от прямой *BC*;

(II) являлась вершиной угла, равного α, стороны которого проходили бы через данные точки *B* и *C*.

Если мы *сохраним только часть условия, отбросив остальную часть*, положение искомой точки не будет полностью определено. Существует бесконечно много точек, удовлетворяющих части (I) условия, а именно: все точки прямой, параллельной *BC*, расстояние которой до *BC* равно *h*[4]. Эта прямая есть геометрическое место точек, удовлетворяющих части (I) условия.

Геометрическое место точек, удовлетворяющих части (II), есть дуга некоторой окружности; концами этой дуги являются точки *B* и *C*. Мы в состоянии построить оба геометрических места; их пересечение даст нам искомую точку.

Примененный здесь метод представляет известный интерес. Решая геометрические задачи на построение, мы часто с успехом можем следовать этому образцу, т. е. сводить данную задачу к задаче на построение некоторой точки, а затем находить искомую точку как пересечение двух геометрических мест.

Более того, один из важных этапов приведенного выше

[4] Плоскость разбивается прямой ***BC*** на две полуплоскости. Мы выбираем одну из них и предполагаем, что именно в ней лежит искомая точка ***A***. Поэтому мы ограничиваемся рассмотрением одной прямой, параллельной ***BC***. В противном случае, нам пришлось бы рассматривать две прямые, параллельные ***BC***. (Примечание автора.)

рассуждения – *сохранение части условия и отбрасывание остальной части* – представляет интерес и с более общей точки зрения. Мы можем следовать этому образцу, решая всевозможные «задачи на нахождение». При этом мы ослабляем условие задачи, снимая часть ограничений, наложенных на неизвестное.

Насколько определенным останется тогда неизвестное; как сможет оно меняться? Задавая этот вопрос, мы фактически ставим новую задачу.

Если неизвестным служит точка на плоскости (как в рассмотренном нами примере), решение этой новой задачи состоит в определении геометрического места возможных положений этой точки. Если неизвестным служит математический объект какой-либо иной природы (например, квадрат в п. 18), нам приходится должным образом вводить понятие множества объектов и точно определять то множество объектов, которое является искомым. Даже в случае, когда неизвестное не есть математический объект (как в следующем примере, п. 8), может оказаться полезным рассмотреть, описать или перечислить объекты, удовлетворяющие некоторой части условия, наложенного на неизвестное в первоначальной задаче.

8. *Пример.* Решая кроссворд, в котором допускаются игра слов и анаграммы, мы встречаем следующий ключ:

«В обоих направлениях вращающаяся деталь машины (5 букв)».

Что неизвестно? Слово.

В чем состоит условие? Слово должно состоять из 5 букв. Оно должно обозначать какую-то вращающуюся деталь какой-то машины. Оно должно быть русским словом, причем будем надеяться, не чересчур редким.

Достаточно ли условие для определения неизвестного? Нет.

Слишком много слов удовлетворяют условию, таких, как «рычаг», «ролик», «гайка» и т. д. Условие выражено двусмысленно; это, конечно, сделано намеренно. После ряда безуспешных попыток найти слово, обозначающее деталь машины, для которой характерным признаком было бы вращение в обоих направлениях, мы начинаем подозревать, что имеется в виду *чтение* в обоих направлениях. Такое толкование ключа может оказаться прекрасной догадкой.

Разделите условие на части. Условие задачи состоит из двух частей, в одной из которой существенную роль играет значение слова, а в другой – комбинация букв, составляющих это слово.

Требуется, чтобы искомое слово:

(I) обозначало вращающуюся деталь некоторой машины,

(II) состояло из 5 букв, причем при чтении в обратном направлении эти буквы должны давать снова слово, обозначающее вращающуюся деталь машины.

Если *оставить часть условия, отбросив остальную часть,* неизвестное окажется не вполне определенным. Существует много слов, удовлетворяющих части (I) условия; они образуют нечто вроде «геометрического места». Мы можем «построить» «геометрическое место» (I) и затем, «следуя» вдоль него, дойти до пересечения с «геометрическим местом» (II). Естественно сосредоточить свое внимание на части (I) условия, найти несколько слов с данным значением, а затем исследовать каждое из них в отношении количества букв и возможности читать его в обоих направлениях.

Возможно, нам придется вспомнить несколько слов, прежде чем мы наткнемся на искомое: рычаг, муфта, гайка, ролик, ротор,... Ну, конечно, «ротор»!

9. В пункте 3 мы дали классификацию тех возможностей, которые возникают при объединении вновь

элементов, на которые была разложена исходная задача «на нахождение». Если мы намерены составить из этих элементов не одну новую задачу, а две или более, перед нами открываются большие возможности, о которых мы, однако, лишь упоминаем, оставляя в стороне их классификацию.

Мы можем встретиться и с возможностями другого рода. В частности, может оказаться, что решение некоторой «задачи на нахождение» связано с решением некоторой «задачи на доказательство». Мы лишь упоминаем о возможности такого важного случая, воздерживаясь за недостатком места от подробного его изучения.

10. Лишь несколько коротких замечаний можно сделать относительно «задач на доказательство»; при этом будет очевидна полная аналогия тому, о чем мы подробно говорили, рассматривая «задачи на нахождение» (п. 2–9).

Уяснив себе как целое некоторую «задачу на доказательство», нам, вообще говоря, следует рассмотреть ее главные элементы. Главными элементами теоремы, которую нам предстоит доказать или опровергнуть, являются ее предпосылка[5] и заключение. Мы должны как следует понять эти элементы.

Какова предпосылка теоремы? В чем состоит ее заключение? Если возникает необходимость рассмотреть какие-либо частные детали, можно *разделить предпосылку теоремы на ее части* и рассмотреть каждую часть в отдельности. Затем можно перейти к другим деталям, осуществляя все большее разложение задачи.

---

[5] Здесь мы пользуемся термином, принятым С. А. Богомоловым в его книге «Геометрия» (систематический курс), Учпедгиз, 1949. Вместо термина «предпосылка» в нашей литературе, впрочем, чаще применяется термин «условие». Последний в нашем контексте оказывается неудобным, так как это слово постоянно используется в настоящей книге для обозначения отношений, связывающих между собой данные и искомые элементы в «задачах на нахождение». В оригинале в этих двух случаях применяются, соответственно, термины hypothesis и condition. (Примечание к русскому переводу. – ***Ред.***)

Разложив задачу, мы можем попытаться вновь объединить составляющие ее элементы некоторым новым образом.

В частности, можно попытаться составить из них новую теорему. Здесь существуют три возможности.

1) Мы *сохраняем заключение теоремы*, изменяя ее предпосылку. Прежде всего мы попытаемся припомнить такого рода теорему:

Рассмотрите заключение! И попытайтесь вспомнить знакомую теорему с тем же или подобным заключением. Если нам не удается вспомнить такую теорему, мы пытаемся ее придумать: нельзя ли придумать другую предпосылку, из которой можно было бы легко вывести заключение? Можно изменить предпосылку, что-либо в ней опуская, но ничего не прибавляя. Сохраните лишь часть предпосылки, отбросив остальную часть; останется ли при этом заключение справедливым?

2) *Мы сохраняем предпосылку, меняя заключение. Нельзя ли извлечь что-либо полезное из предпосылки?*

3) *Мы изменяем и предпосылку и заключение теоремы. Возможно, что мы пришли к необходимости изменить то и другое вследствие безуспешных попыток изменить что-либо одно. Нельзя ли изменить предпосылку теоремы или ее заключение, или, если необходимо, то и другое, так, чтобы новая предпосылка и новое заключение оказались ближе друг к другу?*

Мы не делаем здесь попыток классифицировать различные возможности, возникающие в случае, когда мы, пытаясь решить исходную «задачу на доказательство», вводим две (или более) новые задачи этого рода или когда мы связываем рассматриваемую «задачу на доказательство» с некоторой «задачей на нахождение».

Рассмотрите неизвестное. Это старый совет; подобное латинское выражение гласит: «respice finem», т. е. «смотри на конец». Помните о своей цели. Не забывайте о ней. Думайте

о том, чего вы добиваетесь, не выпускайте из поля зрения то, что требуется от вас в задаче. Всегда имейте в виду цель, к которой вы стремитесь. *Рассмотрите неизвестное. Рассмотрите заключение.* Эти последние два варианта латинского «respice finem» сформулированы применительно именно к математическим задачам, соответственно к «задачам на нахождение» и к «задачам на доказательство».

Сосредоточивая все свое внимание на цели и напрягая свою волю для достижения успеха, мы обдумываем пути и средства, при помощи которых мы можем добиться его. Какими средствами мы можем прийти к успешному концу? Как можно добиться поставленной цели? Каким образом можно получить такой результат? Какие причины могут привести к такому результату? Где вам встречался подобный результат? Что обычно предпринимается для получения такого результата? *И постарайтесь припомнить знакомую задачу с тем же или подобным неизвестным. И постарайтесь припомнить знакомую теорему с такими же или подобными заключениями.* Опять-таки эти последние два совета соответственно относятся именно к «задачам на нахождение» и к «задачам на доказательство».

1. Мы будем рассматривать математические задачи, «задачи на нахождение», и совет: *постарайтесь припомнить знакомую задачу с таким же неизвестным.* Сравним этот совет с аналогичным советом, содержащимся в вопросе: *не знаете ли вы какой-нибудь сходной задачи?*

Последний совет носит более общий характер, чем первый. Если две задачи родственные, то они имеют что-то общее; они могут содержать ряд общих элементов или понятий или иметь общими какие-нибудь данные или часть условия и т. д. Наш первый совет исходит из того, что у обеих задач именно неизвестное является общим, т. е. неизвестное в

обоих случаях должно быть объектом одной категории, например длиной отрезка прямой линии.

По сравнению с советом общего характера, более конкретный совет отличается большей определенностью, он рациональнее.

Во-первых, мы можем экономить наши усилия в изложении задачи; не приходится рассматривать всю задачу сразу, а лишь неизвестное. Задача схематически предстанет перед нами в виде:

«Дано... найти длину отрезка».

Во-вторых, имеется известная экономия в выборе. Многие-многие задачи могут быть приведены в связь с данной задачей, имея какие-нибудь точки соприкосновения с ней. Но, рассматривая неизвестное, мы ограничиваем свой выбор, мы рассматриваем только те задачи, которые имеют то же неизвестное. И, конечно, из всех задач с тем же неизвестным мы рассматриваем прежде всего наиболее элементарные и наиболее знакомые нам.

2. Задача, стоящая перед нами, записана в виде:

«Дано... найти длину отрезка».

Наиболее простые и наиболее знакомые задачи подобного рода связаны с треугольниками. Даны три элемента треугольника, найти длину одной из сторон. Вспомнив это, мы нашли задачу, которая может помочь нам: *вот задача, родственная с данной и уже решенная. Нельзя ли воспользоваться ею? Нельзя ли применить ее результат?* Для того чтобы мы могли воспользоваться известными теоремами о треугольниках, в нашей фигуре должен быть треугольник. Имеется у нас треугольник? Или нам следует ввести треугольник, чтобы воспользоваться этими теоремами? *Не следует ли ввести какой-то вспомогательный элемент, чтобы стало возможно воспользоваться этой задачей?*

Имеется несколько простых задач, в которых неизвестна сторона треугольника. (Эти задачи различаются своими данными – могут быть даны два угла и одна сторона или две стороны и один угол, причем положение угла относительно данных сторон может быть различно. (Следует отметить, что все эти задачи особенно просты для прямоугольных треугольников.) Рассматривая стоящую перед нами задачу, мы стараемся выяснить, какой треугольник нам следует ввести в нее, какую ранее решенную задачу (с тем же неизвестным, что в нашей задаче) нам выгоднее всего применить в данном случае.

После того как мы ввели подходящий вспомогательный треугольник, может оказаться, что нам еще неизвестны три его элемента. Это не существенно, если мы предвидим, что неизвестные элементы можно будет каким-нибудь образом определить. Тем самым мы значительно продвинулись в решении задачи, у нас есть план решения.

3. Суть подхода, схематично изложенного выше (в пп. 1 и 2), иллюстрируется в основном в пункте 10 (иллюстрация несколько нечеткая из-за медлительности учащихся). Совсем нетрудно увеличить число подобных примеров. В самом деле, к решению почти всех «задач на нахождение», обычно предлагаемых на ранней стадии обучения, можно приступить, если правильно следовать совету: *и постарайтесь припомнить знакомую задачу с тем же или подобным неизвестным.*

К таким задачам нужно подходить по определенной схеме и прежде всего рассмотреть неизвестное:

1) дано... найти длину отрезка;
2) дано... найти угол;
3) дано... найти объем тетраэдра;
4) дано... построить точку.

При наличии некоторого опыта в решении элементарных математических задач мы легко вспомним одну или несколько простых и знакомых задач с тем же неизвестным. Если данная задача сама не принадлежит к числу простых и знакомых задач, мы, естественно, стараемся воспользоваться известными нам решениями таких задач. Мы пытаемся ввести какой-нибудь полезный, хорошо знакомый нам элемент в задачу, и, поступая так, мы приобретаем хороший отправной пункт для дальнейшего исследования задачи.

В каждом из этих четырех вышеупомянутых случаев план решения очевиден, ибо имеется обоснованная догадка о том, каким путем вести решение.

(1) Неизвестное следует определить как сторону некоторого треугольника. Остается ввести подходящий треугольник с тремя известными или легко определяемыми элементами.

(2) Неизвестное следует определить как угол некоторого треугольника. Остается ввести подходящий треугольник.

(3) Неизвестное может быть определено, если площадь основания и высота известны. Остается определить площадь какой-нибудь грани и соответствующую этой грани высоту.

(4) Неизвестное может быть определено пересечением двух геометрических мест, каждое из которых может быть окружностью или прямой. Остается определить, как можно из условия задачи «выудить» такие геометрические места.

Во всех этих случаях план подсказывается простой задачей с тем же неизвестным и желанием использовать метод ее решения или его результат. Следуя этому плану, мы можем, конечно, столкнуться с трудностями, но все же у нас есть отправная идея, а это уже большой шаг вперед.

4. Но у нас не будет такого преимущества, если у нас нет ранее решенной задачи с тем же неизвестным. В этом случае значительно труднее взяться за решение задачи.

«Определить площадь поверхности шара данного радиуса». Эта задача была решена Архимедом. Едва ли есть более простая задача с тем же неизвестным, и, конечно, не было более простой задачи, которой Архимед мог бы воспользоваться. И в самом деле, решение Архимеда можно считать одним из самых выдающихся достижений математики.

«Определить площадь поверхности шара, вписанного в тетраэдр, все ребра которого даны». Зная ответ указанной выше задачи Архимеда, можно решить эту новую задачу, не обладая его гением, остается лишь выразить радиус вписанного шара через ребра тетраэдра. Это не так уж легко, но возникающие трудности не могут сравниться с теми, с которыми столкнулся Архимед.

Единственное отличие легкой задачи от трудной заключается в том, известно ли нам решение какой-нибудь задачи с тем же неизвестным или нет.

5. Когда Архимед приступал к определению площади поверхности шара, он не знал, как мы говорили выше, никакой задачи с тем же неизвестным и решенной ранее. Но ему были известны различные задачи, решенные ранее с подобными неизвестными. Площади некоторых кривых поверхностей определяются легче, чем площадь поверхности шара, и способы их вычисления были известны во времена Архимеда. Такими поверхностями являются, например, боковые поверхности прямых круговых цилиндров, прямых круговых конусов и усеченных конусов. Можно не сомневаться, что Архимед тщательно рассматривал эти более простые случаи. В самом деле, в своем решении он пользуется в качестве приближения к шару

составным телом из двух конусов и нескольких усеченных конусов (см. «Определение», п. 6).

Если мы не можем найти ранее решенной задачи с тем же неизвестным, что и в нашей задаче, мы стараемся найти задачу с подобным неизвестным. Последние менее похожи на нашу задачу, чем вышеописанные, и поэтому их труднее использовать в наших целях, но тем не менее в них можно почерпнуть ценные указания.

6. Добавим несколько замечаний о «задачах на доказательство», аналогичные более подробным комментариям к «задачам на нахождение», приведенным выше.

Нам нужно доказать (или опровергнуть) какую-нибудь четко сформулированную теорему. Любая ранее доказанная теорема, чем-нибудь похожая на нашу, может помочь нам. Однако можно ожидать, что более действенную помощь окажут те теоремы, которые содержат такое же заключение, как наше. Учитывая это, мы рассматриваем заключение, т. е. уделяем заключению своей теоремы главное внимание. Наш метод рассмотрения теоремы может быть схематически записан так:

«Если..., то углы равны».

Мы сосредотачиваем свое внимание на заключении нашей теоремы и *стараемся припомнить знакомую теорему с тем же или подобным заключением*. Мы особенно стараемся вспомнить какую-нибудь особенно простую, знакомую теорему этого типа.

В рассматриваемом случае имеется несколько различных теорем этого рода, и, возможно, мы вспомним следующую: «Если два треугольника подобны, то их соответственные углы равны». Вот теорема, похожая на вашу и доказанная ранее. Сумеете ли вы воспользоваться ею? Следует ли ввести какой-нибудь вспомогательный элемент, чтобы получить возможность воспользоваться этой теоремой?

Следуя этим советам и стараясь определить, какую помощь нам может оказать теорема, которую мы вспомнили, мы можем составить такой план: попытаемся доказать равенство интересующих нас углов на основании подобия треугольников. Мы видим, что необходимо ввести два треугольника с этими углами и доказать, что они подобны. Такой план является хорошим началом в работе и, возможно, в конце концов приведет нас к желанной цели, как это показано в пункте 19.

7. Подведем итог. Вполне вероятно, что, вспомнив ранее решенные задачи с тем же или подобным неизвестным (ранее доказанные теоремы с теми же или подобными заключениями), мы начнем решать задачу в нужном направлении и, возможно, у нас возникнет правильный план решения. В простых случаях, которые встречаются чаще всего на ранней стадии обучения, имеется обычно достаточное число элементарнейших задач с тем же неизвестным (теорем с тем же заключением). Этот прием – попытка припомнить задачи с тем же неизвестным – сам собой напрашивается и основан на здравом смысле (сравните с тем, что было сказано на этот счет в п. 4). Удивительно, что такой простой и полезный прием недостаточно широко известен. Автор склонен думать, что никогда ранее этот прием не излагался во всей его общности. Во всяком случае и учащийся и преподаватель математики не должны пренебрегать советом: *Рассмотрите неизвестное. И постарайтесь вспомнить знакомую задачу с тем же или подобным неизвестным.*

Reductio ad absurdum и косвенное доказательство представляют собой различные, но родственные приемы.

Reductio ad absurdum вскрывает ошибочность какого-нибудь предположения тем, что выводит из него явный абсурд.

«Приведение к нелепости» является математическим приемом, но имеет некоторое сходство с иронией, любимым приемом сатирика. Ирония принимает, по-видимому, определенную точку зрения, подчеркивает ее и затем настолько ее утрирует, что в конце концов приводит к явному абсурду.

Косвенное доказательство устанавливает справедливость утверждения тем, что вскрывает ошибочность противоположного ему допущения. Таким образом, косвенное доказательство имеет некоторое сходство с надувательским приемом политикана, поддерживающего своего кандидата тем, что опорочивает репутацию кандидата другой партии.

Как «reductio ad absurdum», так и косвенное доказательство являются эффективными средствами для открытия нового и в пытливом уме возникают как нечто совершенно естественное. Тем не менее они не по вкусу некоторым философам и многим новичкам, что нетрудно понять. Ведь не всем по душе сатирики и политиканы. Сначала мы примерами проиллюстрируем эффективность обоих приемов, а затем рассмотрим возражения против их применения.

1. *Reductio ad absurdum.* Напишите сумму чисел, равную 100, используя для этого десять цифр, причем каждую цифру можно брать только один раз.

Мы можем кое-чему научиться, пытаясь решить эту головоломку, формулировка которой требует некоторого уточнения.

Что неизвестно? Ряд чисел. Под числами мы здесь подразумеваем, конечно, целые положительные числа.

Что дано? Число 100.

В чем состоит условие? Условие состоит из двух частей. Первая часть: составляя ряд искомых чисел, мы должны лишь один раз использовать десять цифр: 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9.

Вторая часть: сумма всех чисел должна быть 100.

Сохраните только часть условий, отбросив остальные. Первую часть условия отдельно легко удовлетворить. Возьмите ряд: 19; 28; 37; 46; 50; каждая цифра появляется только один раз. Однако вторая часть условия не удовлетворяется, ибо сумма этих чисел равняется 180, а не 100. Возможно, мы можем удачнее подобрать цифры. «Попытка не пытка» – говорит пословица, и действительно,

$$19 + 28 + 30 + 7 + 6 + 5 + 4 = 99.$$

Здесь первая часть условия удовлетворяется, а вторая почти удовлетворяется: у нас 99 вместо 100. Конечно, если отбросить первую часть условия, мы легко можем удовлетворить второй:

$$19 + 28 + 31 + 7 + 6 + 5 + 4 = 100.$$

Теперь первая часть условия не удовлетворяется: цифра 1 встречается дважды, а нуль ни разу; с остальными цифрами все в порядке. «Пытайся, пытайся снова».

После ряда неудачных попыток мы начнем подозревать, что при требуемых условиях получить 100 невозможно. В конце концов возникает такая задача: *доказать, что невозможно удовлетворить обеим частям предложенного условия одновременно*.

Эта задача непосильна даже для довольно хороших учащихся. Однако при правильном подходе решение довольно простое. Для этого *необходимо рассмотреть тот предположительный случай, при котором обе части условия удовлетворяются.*

Итак, у нас возникло подозрение, что этот случай невозможен и наше сомнение, основанное на опыте наших неудачных попыток, не лишено оснований. Тем не менее, подойдем к делу без предубеждения и рассмотрим случай, при котором гипотетически, предположительно, якобы, обе части условия удовлетворяются. Таким образом, представим

себе ряд чисел, сумма которых равна 100. Числа эти должны быть однозначными или двузначными. Всего десять цифр, и все они должны отличаться друг от друга, поскольку каждая цифра: 0; 1; 2; 3; ...; 9, может появляться лишь один раз. Таким образом, сумма всех цифр должна быть:

$$0 + 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 = 45.$$

Некоторые из этих цифр обозначают единицы, а другие десятки. Не нужно быть особо проницательным, чтобы сообразить, что *сумма цифр, обозначающих десятки*, может играть известную роль. Пусть эта сумма будет t. Тогда сумма оставшихся цифр, обозначающих единицы, будет $45 - t$. Следовательно, сумма всех чисел ряда должна быть:

$$10\,t + (45 - t) = 100.$$

Мы получили уравнение, из которого можно определить t. Это уравнение первой степени. Решив его, мы получим:

$$t = \frac{55}{9}.$$

Здесь что-то не так. Значение найденного t представляет собой дробное число, в то время как t должно быть, конечно, целым числом. Исходя из предположения, что обе части предложенного условия могут быть одновременно удовлетворены, мы пришли к явному абсурду. Чем это можно объяснить? Очевидно, наше первоначальное предположение ошибочно. Обе части условия *не могут* быть удовлетворены одновременно. Итак, мы достигли цели. Нам удалось доказать, что обе части поставленного условия не совместимы.

Наши рассуждения представляют собой типичный пример «reductio ad absurdum».

2. *Замечания.* Вернемся к рассуждениям, изложенным выше, и осмыслим их основное направление.

Мы хотим доказать, что невозможно решить задачу, удовлетворяющую заданному условию, т. е. что невозможен

тот случай, при котором все части условия могут быть удовлетворены одновременно. Однако, хотя мы еще ничего не доказали, но мы обязаны считаться с возможностью такого случая. Лишь рассмотрев этот предположительный случай и тщательно изучив его, можно надеяться обнаружить в нем какую-нибудь явную ошибку. И если мы хотим окончательно подтвердить невозможность нашего предположения, мы должны найти такую явную ошибку. Следовательно, нам ясно, что прием, который оказался удачным для решения нашего примера, разумен вообще, и мы обязаны рассмотреть тот предположительный случай, при котором все части условия удовлетворяются *несмотря на то, что он кажется очень маловероятным.*

Более опытный читатель может обнаружить здесь еще одно обстоятельство. Ведь главным моментом в наших рассуждениях было составление уравнения с целью определить величину *t.* Но к этому же уравнению можно было бы прийти и не подвергая сомнению справедливость условия. Чтобы составить уравнение, мы должны выразить языком математики предположение, что все части условия задачи удовлетворяются, *несмотря на то, что мы еще не знаем, возможно ли в самом деле одновременно удовлетворить всем этим частям условия или нет.*

Наш прием «без предубеждений». Мы надеемся либо найти неизвестное, удовлетворяющее условию, либо надеемся доказать, что решить задачу невозможно. Исследование, если оно умело проводится, начинается в обоих случаях с одного и того же – с рассмотрения того предположительного случая, при котором условие удовлетворяется, и лишь в ходе решения выясняется, которая из надежд оправдывается.

В подтверждение вышесказанного сравните

«Геометрические фигуры», пункт 2. Сравните также П а п п; анализ, результат которого опровергает предложенную теорему или приводит к выводу, что «задача на нахождение» не имеет решения, по существу является «reductio ad absurdum».

3. *Косвенное доказательство.* Простыми числами являются числа: 2; 3; 5; 7; 11; 13; 17; 19; 23; 29; 31; 37; ..., ..., т. е. те натуральные числа, которые не могут быть разложены на меньшие множители и которые больше 1. (Последняя фраза не относится к единице, которая, совершенно ясно, не может быть разложена на меньшие множители. У единицы другие свойства, и ее не следует считать простым числом.) Простые числа являются «первичными элементами», на которые все целые числа (больше 1) могут быть разложены. Например:

$$630 = 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7$$

разлагается на произведение пяти простых чисел.

Ряд простых чисел конечен или бесконечен? Естественно предположить, что ряд простых чисел бесконечен. Если бы он кончался, все целые числа могли быть разложены на конечное число простых чисел, и мир оказался бы, так сказать, «слишком бедным». Таким образом, возникает задача доказать, что ряд простых чисел бесконечен.

Эта задача сильно отличается от элементарных математических задач обычного типа, и на первый взгляд кажется, что к ней невозможно подступиться. Однако очень мало вероятно, как мы говорили, что такое последнее простое число, скажем P, должно существовать. Почему это так мало вероятно?

Непосредственно рассмотрим тот мало вероятный случай, при котором гипотетически, предположительно, якобы, существует некое последнее простое число ряда P. Тогда конечный ряд простых чисел имел бы такой вид: 2; 3; 5; 7; 11; ...; P. Почему этот случай так мало вероятен? Где ошибка? Сможем

ли мы найти явную ошибку в наших рассуждениях? Безусловно, сможем. Для этого мы образуем такое число:

$$Q = (2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \ldots P) + 1.$$

Раз число Q больше P, то поэтому Q, очевидно, не может быть простым числом. Следовательно, Q должно делиться на простое число. По нашему предположению, все простые числа ограничиваются рядом: 2; 3; 5; 7; ...; P. Но если число Q разделить на любое из этих чисел, то получим в остатке 1. Следовательно, Q не делится ни на одно из вышеприведенных простых чисел, которые согласно нашему предположению представляют собой все имеющиеся простые числа. Значит, в наших рассуждениях где-то есть ошибка. Или Q должно быть простым числом, или же оно должно делиться на какое-нибудь простое число. Исходя из предположения, что существует последнее простое число P, мы пришли к явной нелепости. Чем это объясняется? Тем, что наше первоначальное предположение ошибочно. Такого последнего простого числа P быть не может. Таким образом, нам удалось доказать, что ряд простых чисел бесконечен.

Это был типичный пример косвенного доказательства. (К тому же благодаря Евклиду он является широко известным, см. предложение 20 книги IX «Начал».)

Мы доказали исходную теорему (что ряд простых чисел бесконечен) тем, что опровергли не совместимую с ней противоположную теорему (что ряд простых чисел конечен), ибо последняя привела нас к явному абсурду.

Таким образом, в своем доказательстве мы соединили косвенное доказательство с «reductio ad absurdum». В таком сочетании доказательство применяется довольно часто.

4. *Возражения.* Метод решения задач, который мы изучаем, встречает немало возражений. Многие возражения являются, по-видимому, лишь разновидностями одного и

того же основного возражения. Здесь мы рассмотрим доступную нашему пониманию «практическую» сторону основного возражения.

Найти доказательство, которое является плодом большого умственного усилия, несомненно, большое достижение нашей мысли. Но даже чтобы заучить такое доказательство или понять его до конца, требуется определенное умственное усилие. Вполне естественно, что нам хочется, чтобы этот труд не был затрачен даром, т. е. то, что мы сохраним в памяти, было верно и точно, а не ошибочно или абсурдно.

Но сохранить истину, выведенную из доказательства методом «reductio ad absurdum», довольно трудно. Исходным моментом всех рассуждений является ошибочное предположение, выводы из которого в равной мере ошибочны, но их ошибочность уже несколько более очевидна. Таким образом, мы продолжаем делать выводы из предшествующих до тех пор, пока, наконец, не приходим к выводу, ошибочность которого очевидна. Чтобы не загромождать свою память ложными фактами, следует забыть доказательство возможно быстрее. Но, однако, это невозможно, ибо во время работы над доказательством необходимо четко и точно запоминать каждый шаг.

Таким образом, мы получаем следующую сжатую формулировку возражения против метода косвенного доказательства: имея дело с таким доказательством, мы вынуждены все время сосредоточивать свое внимание не на верной теореме, которую следует запомнить, а на ложном допущении, которое следует забыть.

Если мы желаем правильно судить о справедливости этих возражений, нам следует различать два случая использования «reductio ad absurdum»: первый – как орудие

исследования, второй – как прием изложения материала. Точно такие же различия следует делать и относительно косвенного доказательства.

Нужно признать, что «reductio ad absurdum» как метод изложения материала наряду со своими достоинствами имеет и недостатки. Такое «reductio», в особенности, если оно растянуто, может оказаться невыносимым для читателя или слушателя. Все вытекающие из него выводы, которые мы последовательно рассматриваем, справедливы, но все положения, с которыми нам приходится считаться в процессе доказательства, ошибочны. Даже словесная форма изложения может стать утомительной, если она подчеркивает, а она должна подчеркивать, что все основано на исходном предположении. Слова «гипотетически», «предположительно», «якобы» должны неоднократно повторяться или же какой-нибудь другой прием должен быть найден, который тоже будет многократно повторяться. Нам хочется отвергнуть и забыть положение как невозможное, но приходится сохранять и рассматривать его как основание для последующего шага, и этот внутренний разлад может в конце концов стать невыносимым.

Однако было бы неблагоразумно отказаться совсем от «reductio ad absurdum» как от средства исследования. Оно может прийти нам в голову как вполне естественный прием и привести к решению, когда все другие средства оказываются бессильными. В этом мы могли убедиться на вышеприведенных примерах.

Надо иметь некоторый опыт, чтобы заметить, что между двумя точками зрения нет существенных расхождений. Практика показывает, что часто нетрудно бывает либо превратить косвенное доказательство в прямое, либо перестроить доказательство, связанное с длительными

рассуждениями, методом «reductio ad absurdurm в более приятную форму, из которой «reductio ad absurdum» может даже полностью исчезнуть (или после должной подготовки оно может быть сведено к нескольким ярким выразительным предложениям).

Одним словом, если мы хотим полностью использовать все имеющиеся в нашем распоряжении методы доказательства той или иной истины, мы должны хорошо знать как метод «reductio ad absurdum», так и метод косвенного доказательства. Однако в том случае, когда можно успешно решить задачу одним из этих способов, следует обязательно вернуться к решению и поставить себе вопрос: *нельзя ли получить тот же результат иначе?*

Проиллюстрируем сказанное примерами.

5. *Перестройка* «reductio ad absurdum». Вернемся к рассуждениям, изложенным в пункте 1. Решая задачу методом «reductio ad absurdum», мы исходили из допущения, которое в конце концов оказалось невозможным. Однако возьмем ту часть доказательства, которая независима от первоначального ошибочного предположения и содержит правильные предпосылки. Возвращаясь к полученному решению задачи, мы сможем заметить несомненную справедливость следующего положения: если ряд чисел, однозначных или двузначных, написан так, что каждая из десяти цифр встречается только раз, то сумма этого ряда имеет вид:

$$10\,t + (45 - t) = 9(t + 5),$$

т. е. эта сумма делится на 9. Но по условиям предложенной головоломки сумма должна быть равна 100. Возможно ли это? Нет, поскольку 100 не делится на 9.

Таким образом, метод «reductio ad absurdum», который привел к открытию этой аргументации, исчез из нашего нового изложения доказательства.

Между прочим, читатель, знакомый с приемом исключения девяток, теперь может оценить всю аргументацию с одного взгляда.

6. *Преобразование косвенного доказательства*. Обратимся к рассуждениям, изложенным в пункте 3. Возвращаясь к завершенному решению и тщательно обдумав весь ход его, мы можем найти ряд аргументов, которые независимы от какого бы то ни было ошибочного допущения. Однако лучший ключ к разгадке решения мы найдем при вторичном рассмотрении смысла именно предложенной задачи.

Как следует понимать утверждение, что ряд простых чисел бесконечен? Очевидно, имеется в виду следующее: когда мы получили какое-нибудь конечное множество простых чисел: 2; 3; 5; 7; 11; ... P, где P последнее из этих найденных простых чисел, то всегда найдется еще одно простое число. Итак, что нужно предпринять, чтобы доказать существование бесконечного ряда простых чисел? Мы должны указать, каким образом можно найти простое число, отличное от всех известных. Таким образом, наша «задача на доказательство» по существу сведена к следующей «задаче на нахождение»: *Даны простые числа: 2; 3; 5; 7; ... P. Требуется найти новое простое число, отличное от всех данных простых чисел*.

Придав нашей первоначальной задаче такую формулировку, мы сделали главный шаг. Теперь сравнительно легко увидеть, как использовать наиболее существенные части предыдущей аргументации для нашей новой цели. В самом деле число

$$Q = (2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \ldots P) + 1$$

несомненно делится на какое-то простое число. Возьмем – в этом суть идеи – любой простой делитель числа Q (например, наименьший) и обозначим его N. (Конечно, если Q простое число, то $N = Q$.) Если величину Q разделить на любое из

простых чисел: 2; 3; 5; 7; ... *P*, то получим в остатке 1. Таким образом, ни одно из этих чисел не может равняться *N*, так как *N* является делителем *Q*. Это как раз то, что нам нужно: *N* есть простое число, и оно отлично от всех ранее известных нам простых чисел: 2; 3; 5; 7; 11; ... *P*.

Это доказательство представляет собой определенный прием, при помощи которого можно вновь и вновь продлить ряд простых чисел до бесконечности. В нем нет ничего окольного, нет необходимости рассматривать невозможные положения. Однако по существу это доказательство такое же, как и приведенное нами косвенное доказательство, которому нам удалось только придать другой вид. <…>

ПОНИМАНИЕ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ	
I **Нужно ясно понять задачу.**	*Что неизвестно? Что дано? В чем состоит условие?* Возможно ли удовлетворить условию? Достаточно ли условие для определения неизвестного? Или недостаточно? Или чрезмерно? Или противоречиво? Сделайте чертеж. Введите подходящие обозначения. Разделите условие на части. Постарайтесь записать их.
СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА РЕШЕНИЯ	
II **Нужно найти связь между данными и неизвестным. Если не удается сразу обнаружить эту связь, возможно, полезно будет рассмотреть вспомогательные задачи. В конечном счете необходимо прийти к плану решения.**	Не встречалась ли вам раньше эта задача? Хотя бы в несколько другой форме? *Известна ли вам какая-нибудь родственная задача?* Не знаете ли теоремы, которая могла бы оказаться полезной? *Рассмотрите неизвестное!* И постарайтесь вспомнить знакомую задачу с тем же или подобным неизвестным. *Вот задача, родственная с данной и уже решенная. Нельзя ли воспользоваться ею?* Нельзя ли применить ее результат? Нельзя ли использовать метод ее решения? Не следует ли ввести какой-нибудь вспомогательный элемент, чтобы стало возможно воспользоваться прежней задачей? Нельзя ли иначе сформулировать задачу? Еще иначе? Вернитесь к определениям. Если не удается решить данную задачу, попытайтесь сначала решить сходную. Нельзя ли придумать более доступную

	сходную задачу? Более общую? Более частную? Аналогичную задачу? Нельзя ли решить часть задачи? Сохраните только часть условия, отбросив остальную часть: насколько определенным окажется тогда неизвестное; как оно сможет меняться? Нельзя ли извлечь что-либо полезное из данных? Нельзя ли придумать другие данные, из которых можно было бы определить неизвестное? Нельзя ли изменить неизвестное, или данные или, если необходимо, и то и другое, так, чтобы новое неизвестное и новые данные оказались ближе друг к другу? Все ли данные вами использованы? Все ли условие? Приняты ли вами во внимание все существенные понятия, содержащиеся в задаче?
ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ПЛАНА	
III **Нужно осуществить план решения.**	Осуществляя план решения, *контролируйте каждый свой шаг*. Ясно ли вам, что предпринятый вами шаг правилен? Сумеете ли доказать, что он правилен?
ВЗГЛЯД НАЗАД (изучение полученного решения)	
IV **Нужно изучить найденное решение.**	Нельзя ли *проверить результат?* Нельзя ли проверить ход решения? Нельзя ли получить тот же результат иначе? Нельзя ли усмотреть его с одного взгляда? Нельзя ли в какой-нибудь другой задаче использовать полученный результат или метод решения?

ТЕМА 8. О НЕКОТОРЫХ СПЕЦИФИЧЕСКИХ МЕТОДАХ И ПРИЕМАХ ПРИ ПОСТАНОВКЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Есть особенность, которую нужно учитывать при поиске и анализе литературы по вопросам, связанным с экспериментами. Она заключается в том, что выражение «планирование эксперимента» с середины прошлого века обычно применяется только в контексте математической статистики. Вплоть до того, что в литературе обсуждается, является ли планирование эксперимента самостоятельной областью деятельности, или это часть математической статистики.

Вообще говоря, это, конечно, перекос, который возникает всегда, когда какая-то идея «овладевает массами»[1]. Однако это уже факт современного состояния науки, и с этим надо считаться.

Грубо можно обобщить так: усилия по планированию эксперимента в этой парадигме предпринимаются по двум направлениям – снижение дисперсии (отклонения от математического ожидания) и рандомизация.

[1] Источник идиомы «идея становится материальной силой, когда она овладевает массами» – статья К. Маркса «К критике гегелевской философии права». Цитата дословно звучит несколько иначе: «Оружие критики не может, конечно, заменить критики оружием, материальная сила должна быть опрокинута материальной же силой, но теория становится материальной силой, как только она овладевает массами. Теория способна овладеть массами, когда она доказывает ad hominem, а доказывает она ad hominem, когда становится радикальной. Быть радикальным – значит понять вещь в ее корне. Но корнем является для человека сам человек...». Ad hominem – аргумент к человеку (лат.). Radix – корень (лат.). То есть использование в идиоме слова «идея» вместо «теория» – легитимно, смысл выражен точно, поскольку разговор идет в парадигме идея vs материя. Я в данном случае (и других аналогичных) имею в виду, что, «овладевая массами», идея начинает «жить своей жизнью» и может уходить довольно далеко от первоначального состояния. Это процесс практически неконтролируемый, влиять на него невозможно.

При этом рандомизация – процесс, касающийся собственно эксперимента и его условий, а дисперсия – характеристика оценки результатов методами математической статистики. Представляется неочевидной правомерность ставить их в один ряд, однако научная практика именно такова.

Более того, совершенно необходимо понимать, что дисперсия – это характеристика, которая вообще возникает только в одном довольно специфическом случае – если фактический результат сравнивается с математическим ожиданием, то есть с результатом рассчитанным.

Почему этот случай специфический? Ведь в прошлой теме мы разбирали, что совершенно необходимо при планировании эксперимента сформулировать ожидаемый результат и сравнивать с ним фактический результат по заранее заданным критериям. Чем сравнение с математическим ожиданием в этом смысле специфично?

Желательно, чтобы учащиеся постарались сами сформулировать ответ.

Сравнение с математическим ожиданием (и, соответственно, снижение дисперсии) имеет смысл только в том случае, если стоит задача добиться как можно более точного *измерения* в условиях недостаточно точного или не вполне подходящего *инструментария*. Наверняка есть огромное количество областей деятельности, когда эта задача крайне важна, но, когда эксперимент проводится в рамках процесса разработки средств или систем защиты информации, такая потребность может возникнуть исключительно редко. Несмотря на то что при описании исследовательских процедур в обобщенном смысле используется слово «измерение», собственно *мерить* что-то при разработке в области защиты информации нужно довольно нечасто, а абсолютно преобладают эксперименты, выясняющие причины или следствия каких-либо явлений, выявляющие закономерности протекания каких-либо процессов. Статистические методы в таких экспериментах тоже применимы, но совсем для другого – для интерпретации результата, а не для оценки его точности.

Однако решение о применимости или неприменимости тех или иных инструментов в своей работе исследователь должен

принимать информированно и осознанно, поэтому целесообразно все же получить представление о «планировании эксперимента» как деятельности по математической статистике.

Чтобы минимизировать искажения из-за интерпретации, имеет смысл обратиться к источникам. Ниже приведен фрагмент из книги по планированию эксперимента.

Начнем с самого простого и многократно описанного примера – взвешивания трех объектов *a*, *в*, *c* на аналитических весах (этот пример приводился уже в работе [8]). Традиционно экспериментатор стал бы взвешивать эти объекты по схеме, приведенной в табл. 1.

Таблица 1

ТРАДИЦИОННАЯ СХЕМА ВЗВЕШИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ[2]

Номер опыта	*a*	*b*	*c*	Результат взвешивания
1	−1	−1	−1	y_0
2	+1	−1	−1	y_1
3	−1	+1	−1	y_2
4	−1	−1	+1	y_3

Вначале он делает холостое взвешивание, определяя нулевую точку весов, затем по очереди взвешивает каждый из объектов. Это пример традиционно используемого однофакторного эксперимента. Здесь исследователь изучает поведение каждого фактора в отдельности. Масса каждого объекта оценивается только по результатам двух опытов: того опыта, в котором на весы был положен изучаемый объект, и холостого опыта. Например, масса объекта а равна

$$A = y_1 - y_0 .$$

Дисперсия результата взвешивания запишется в виде

$$\sigma^2\{A\} = \sigma^2\{y_1 - y_0\} = 2\sigma^2\{y\},$$

где $\sigma\{y\}$ – ошибка взвешивания.

Приведем теперь тот же эксперимент по несколько иной схеме, задаваемой матрицей планирования, приведенной в

[2] Здесь и в табл. 2 обозначение «+1» указывает, что объект взвешивания положен на весы; обозначение «-1» указывает на отсутствие объекта на весах.

табл. 2. Здесь, как и в предыдущем случае, каждая строка задает условия проведения одного опыта.

Таблица 2

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА
ПРИ ВЗВЕШИВАНИИ ТРЕХ ОБЪЕКТОВ

Номер опыта	*a*	*b*	*c*	Результат взвешивания
1	+1	−1	−1	y_1
2	−1	+1	−1	y_2
3	−1	−1	+1	y_3
4	+1	+1	+1	y_4

В первых трех опытах последовательно взвешиваются объекты *a*, *b*, *c*; в последнем опыте взвешиваются все три объекта вместе – «холостое» взвешивание не производится. Легко видеть, что масса каждого объекта будет задаваться формулами

$$A = \frac{y_1 - y_2 - y_3 + y_4}{2},$$

$$B = \frac{-y_1 + y_2 - y_3 + y_4}{2},$$

$$C = \frac{-y_1 - y_2 + y_3 + y_4}{2}.$$

Здесь числители получены путем умножения элементов последнего столбца на элементы столбцов *a*, *b*, *c*. Мы видим, что при вычислении, скажем, массы объекта *a* она входит в числитель два раза, и потому в знаменателе стоит число 2. Масса объекта *a*, вычисленная по приведенной выше формуле, оказывается не искаженной массами объектов *b* и *c*, так как масса каждого из них входит в формулу для массы *a* дважды и с разными знаками.

Найдем теперь дисперсию, связанную с ошибкой взвешивания при новой схеме постановки экспериментов. Она равна

$$\sigma^2\{A\} = \sigma^2\left\{\frac{y_1 - y_2 - y_3 + y_4}{2}\right\} = \frac{4\sigma^2\{y\}}{4} = \sigma^2\{y\}.$$

Аналогичным образом находим

$$\sigma^2\{B\} = \sigma^2\{y\} \quad \text{и} \quad \sigma^2\{C\} = \sigma^2\{y\}.$$

Мы видим, что при новой схеме дисперсия взвешивания получается вдвое меньше, чем при традиционном методе, хотя в обоих случаях на взвешивание трех объектов затрачивалось по четыре опыта. При традиционном взвешивании мы должны будем все четыре опыта повторить дважды для того, чтобы получить результаты с такой же точностью, как и в первом опыте. В результате чего происходит увеличение точности эксперимента в два раза? В первом случае эксперимент был поставлен так, что каждую массу мы получали лишь из двух взвешиваний. При новой схеме эксперимента каждая масса вычислялась уже из результатов всех четырех взвешиваний. Вторую схему эксперимента можно назвать многофакторной. Здесь оперируют всеми факторами (объектами взвешивания), так, чтобы каждая масса вычислялась по результатам всех опытов, проведенных в данной серии экспериментов. Рассмотренная задача взвешивания решается с помощью слишком простой процедуры и вряд ли здесь нужно применять сложные схемы планирования эксперимента.

Пример со взвешиванием показывает, что даже в простых задачах можно с удивительной отчетливостью противопоставить плохой эксперимент хорошему.

Преимущество многофакторного эксперимента можно продемонстрировать и на более сложных задачах. Пусть, например, нам a priori известно, что выход некоторого продукта y линейно зависит от трех переменных (факторов) x_1, x_2, x_3. В частном случае это может быть температура, давление и содержание некоторого компонента. Нам нужно оценить значения коэффициентов регрессии линейного уравнения

$$E\{y\} = \eta = O_0 + O_1 x_1 + O_2 x_2 + O_3 x_3,$$

где E – знак математического ожидания.

Каждую из переменных будем (варьировать только на двух уровнях и обозначать эти уровни знаками «−1» и «+1».

Если температура в наших опытах принимает два значения, скажем, 100 и 120°С, то нижний уровень температуры обозначим через «−1», а верхний – через «+1». Воспользуемся для постановки опытов матрицей планирования, приведенной в табл. 3[3]. Здесь та же схема планирования, что и в табл. 2, только факторы *a*, *b*, *c* заменены независимыми переменными x_1, x_2, x_3 и добавлен столбец «фиктивной» переменной для оценки свободного члена.

Таблица 3

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ С ТРЕМЯ НЕЗАВИСИМЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ

Номер опыта	Матрица коэффициентов x				Результаты эксперимента
	x_0	план эксперимента			
		x_1	x_2	x_3	
1	+1	+1	−1	−1	y_1
2	+1	−1	+1	−1	y_2
3	+1	−1	−1	+1	y_3
4	+1	+1	+1	+1	y_4

В соответствии с этой таблицей эксперименты выполняются следующим образом: в первом опыте переменные x_2 и x_3 находятся на нижних уровнях, x_1 – на верхнем уровне; во втором опыте переменная x_2 находится на верхнем уровне, а переменные x_1, x_3 на нижних уровнях и т. д. Здесь мы имеем дело с насыщенным планом, число наблюдений равно числу оцениваемых параметров. Обозначим через 0 вектор оценок параметров 0, полученных по методу наименьших квадратов.

План, приведенный в табл. 3, обладает следующими свойствами:

[3] Здесь мы имеем дело с так называемой матрицей Адамара. Матрицы Адамара H – это квадратные матрицы размера $N \times N$ (в нашем случае N – число опытов), состоящие из элементов +1 и –1, удовлетворяющие условию $H^T H = N\mathbf{1}$, где $\mathbf{1}$ – единичная матрица, т – знак транспонирования. Матрицы Адамара можно построить только для $N = 2$ и далее для N, кратного четырем. Сейчас известны методы построения таких матриц вплоть до $N = 200$ (за небольшим исключением).

$$\sum_{u=1}^{N} x_{iu} = 0, \qquad \sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2 = N, \qquad \sum_{u=1}^{N} x_{iu} \;\; x_{iu} = 0. \;\; (i \neq j)$$

Первое из этих условий – условие ортогональности к столбцу из единиц, второе – условие нормировки, третье – условие попарной ортогональности столбцов, скалярные произведения всех векторов-столбцов равны нулю. Это значит, что матрица независимых переменных $\boldsymbol{X}$, называемая также матрицей коэффициентов (см. табл. 3), устроена так, что матрица ковариаций $(\boldsymbol{X}^T \boldsymbol{X})^{-1}$ для вектора оценок параметров уравнения регрессии оказывается диагональной[4], т. е. все ковариации cov $\{\widehat{\theta_i}\widehat{\theta_j}\}$ равны нулю и, следовательно, все коэффициенты регрессии определяются независимо друг от друга. Из второго условия следует, что все диагональные элементы матрицы $(\boldsymbol{X}^T \boldsymbol{X})^{-1}$ равны $1/N$. В этом случае коэффициенты регрессии определяются формулами

$$\widehat{\theta_i} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{iu} y_u}{N} \;\; (i = 0, \ldots, n)$$

с дисперсией

---

[4] Напомним здесь, что в матричных обозначениях вектор-столбец коэффициентов регрессии задается соотношением

$$\widehat{\theta} = (X^T X)^{-1} X^T Y,$$

причем

$$\sigma^2\{\widehat{\theta_i}\} = c_{ii}\sigma^2\{y\}, \operatorname{cov}\{\widehat{\theta_i}\widehat{\theta_j}\} = c_{ij}\,\sigma^2\{y\}$$

и коэффициент корреляции

$$\rho\{\widehat{\theta_i}\widehat{\theta_j}\} = \frac{c_{ij}}{\sqrt{c_{ii}\,c_{jj}}}.$$

Здесь c_{ii}, c_{jj} – диагональные и соответственно внедиагональные элементы матрицы $(\boldsymbol{X}^T \boldsymbol{X})^{-1}$, поэтому последняя называется ковариационной матрицей уравнения регрессии или просто матрицей ошибок; матрица $\boldsymbol{X}^T \boldsymbol{X}$ называется информационной матрицей.

$$\sigma^2\{\widehat{\theta_i}\} = \frac{\sigma^2\{y\}}{N}.$$

Из этих двух формул следует, что коэффициенты регрессии оцениваются по всем N опытам и соответственно в N раз уменьшается дисперсия в их оценке по сравнению с дисперсией единичного опыта. Последнее обстоятельство является весьма примечательным. Представьте себе, что мы имеем дело с последовательностью N независимых наблюдений $y_1, y_2, \ldots, y_n$; тогда среднее арифметическое этого ряда наблюдений y будет оцениваться с дисперсией $\sigma^2\{\widehat{\theta_i}\}/N$. В рассмотренном выше случае все N коэффициентов репрессии оцениваются по N опытам с дисперсией $\sigma^2\{\widehat{\theta_i}\}/N$. Отсюда становится очевидным хотя бы на интуитивном уровне, что нельзя придумать такого расположения точек внутри области, ограниченной единичным кубом, которое дало бы возможность получить лучшие по точности оценки коэффициентов регрессии. Это утверждение может быть и строго доказано[5].

Интересующие нас четыре коэффициента регрессии можно было бы оценить и с помощью традиционного однофакторного эксперимента. В этом случае мы действовали бы следующим образом: один эксперимент поставили бы так, чтобы все независимые переменные были на нижнем уровне, а дальше следовали бы три опыта, в каждом из которых одна переменная на верхнем уровне, а две другие на нижнем. Всего было бы поставлено опять четыре опыта. Но каждый коэффициент регрессии определялся бы только по двум опытам как

[5] Обратим внимание на то, что здесь мы имеем дело с необычайно высокой эффективностью математического метода. Напомним для сравнения, что применение эффективных оценок при обработке результатов наблюдений в лучшем случае, когда выборки не загрязнены, дает возможность выиграть несколько десятков процентов. Применение линейного или динамического программирования дает выигрыш в 5–7 % и то только в случае, когда исходные данные не имеют ошибок.

тангенс угла наклона прямой, проведенной через точки, абсциссы которых соответственно равны -1 и $+1$.

В этом случае

$$\widehat{\theta_i} = \frac{y_i - y_0}{2};\ \sigma^2\{\widehat{\theta_i}\} = \frac{\sigma^2\{y\}}{2}.$$

В нашем случае с тремя независимыми переменными, ставя многофакторный опыт, мы выигрываем в дисперсии в два раза. Если бы нашей целью было, скажем, определение 15 коэффициентов регрессии, то, поставив эксперименты по схеме, аналогичной приведенной в табл. 3, мы получили бы выигрыш уже в 8 раз! Однофакторный эксперимент оказывается явно плохим, хотя в этом случае мы имеем дело с созданием условий для изучения явления, не осложненного другими физическими явлениями, и согласно высказыванию, приведенному на с. 11 (определение 7), именно такое действие должно соответствовать представлению о физическом эксперименте. Следует ли отсюда, что физики должны ставить только плохие в метрологическом смысле эксперименты?

Можно показать, что эксперимент, проведенный по схеме, заданной в табл. 3, обладает и еще рядом принятых свойств, одно из которых называется *ротатабельностью*. Оно означает, что получаемое с помощью этого плана уравнение регрессии обладает тем свойством, что дисперсия оценки модели зависит только от длины радиуса, проведенного из центра эксперимента, но не от угла, под которым этот радиус проведен[6]. Если принять за меру информации величину

[6] Это свойство в данном примере следует из того, что все коэффициенты регрессии оцениваются независимо с одной и той же дисперсией, равной $\sigma^2\{y\}/N$. Применяя закон накопления ошибок к уравнению регрессии

$$\hat{\eta} = \widehat{\theta_0} + \widehat{\theta_1}x_1 + \cdots + \widehat{\theta_n}x_{n,}$$

$1/\sigma^2\{\hat{\eta}\}$, то можно утверждать, что информация, содержащаяся в уравнении регрессии, полученном для ротатабельного плана, равномерно «размазана» по сфере (в общем случае гиперсфере) с радиусом r. Исследователь не знает заранее той области факторного пространства, где находится интересующий его участок, поэтому представляется вполне разумным стремиться к такому планированию эксперимента, при котором количество информации, содержащейся в уравнении регрессии, одинаково для всех эквидистантных точек.

Другое приятное свойство эксперимента, заданного табл. 3., – это упоминавшееся уже свойство ортогональности. В этом случае коэффициенты регрессии оцениваются независимо друг от друга. Тогда независимыми друг от друга оказываются и доверительные границы для оценок коэффициентов регрессии. Это имеет очень важное значение при представлении, хранении и интерпретации результатов исследования. Чтобы пояснить эту мысль, рассмотрим трудности, связанные с интерпретацией неортогонального эксперимента, т. е. такого эксперимента, для которого векторы-столбцы матрицы независимых переменных не ортогональны друг другу и, следовательно, $\mathrm{cov}\{\widehat{\theta_i}\widehat{\theta_j}\} \neq 0$. В этом случае при представлении результатов исследования приходится строить совместную доверительную область для всех коэффициентов регрессии, задаваемую многомерным эллипсоидом рассеяния.

В простейшем случае, когда мы имеем дело с уравнением регрессии для одной независимой переменной и

получаем $\sigma^2\{\hat{\eta}\} = \frac{\sigma^2\{y\}}{N}(1 + r^2)$,

где $r^2 = x_1^2 + x_2^2 + \cdots + x_n^2$.

оцениваем, следовательно, два коэффициента регрессии θ_0 и θ_1, совместная доверительная область будет задаваться эллипсом рассеяния. Допустим теперь, что мы хотим для θ_0 выбрать не значение $\widehat{\theta_0}$, оцененное методом наименьших квадратов, а какое-то другое, близкое к нему, попадающее в область доверительных границ, заданных эллипсом. Тогда этот выбор определит и доверительные границы для второго параметра. Легко представить себе, насколько эта процедура усложняется в многомерном случае. Представьте себе теперь еще, что мы хотим данные, полученные по многопараметрической задаче, занести в память ЭВМ. Как это сделать – заносить туда параметры многомерного эллипсоида рассеяния? Можно, конечно, вокруг эллипсоида описать параллелепипед. Тогда запись доверительных границ упростится, но они будут далеки от реальных границ, к тому же с ростом размерности резко увеличивается грубость такой аппроксимации.

Рассмотрим еще одну трудность, связанную с неортогональностью планов. Допустим, что один исследователь построил некую модель кинетики химического процесса, отразив в ней какое-то множество гипотетически возможных промежуточных реакций, а другой построил для описания того же процесса несколько отличную модель, введя в нее иные, также гипотетически возможные реакции. Тогда оценки параметров, сделанные по неортогональным планам, дадут несовпадающие результаты для параметров и тех основных реакций, которые оставались неизменными в обеих моделях. Короче говоря, если в наших представлениях о механизме реакции изменяются хотя бы какие-то может быть и не очень существенные детали, то немедленно должны будут измениться и оценки параметров, задающих основные составляющие химического процесса.

Каждый раз, когда мы рассматриваем ту или иную математическую модель, параметры которой оценены по экспериментальным данным методом наименьших квадратов, нам надо иметь перед собой и ковариационную матрицу $(\boldsymbol{X}^T \boldsymbol{X})^{-1}$. Без нее наше понимание модели будет неполным, а порой просто неверным. При этом коррелированность параметров в модели, доставляющая столь много неприятностей при интерпретации результатов исследования, – это отнюдь не свойство, присущее самому изучаемому процессу, а только следствие того, как устроена матрица $\boldsymbol{X}$. Коррелированность параметров определяется, с одной стороны, структурой выбранной модели (модели для описания одного и того же процесса можно выбирать по-разному), а с другой – расположением экспериментальных точек.

Математическая статистика позволяет не только оценить некоторым, наилучшим в каком-то смысле образом параметры модели, но и получить некоторые *метапредставления* о качестве оценок. Из этих метапредставлений и рождается, как это детально будет показано дальше, возможность планирования, т. е. улучшения эксперимента.

И, наконец, последнее. Представьте себе, что исследователь ставил эксперимент так, что не очень нарушал естественно текущий ход событий в лаборатории. Тогда может оказаться, что наряду с независимыми переменными $x_1, \dots, x_n$ на результат эксперимента могут еще оказать влияние не регистрируемые, но спонтанно изменяющиеся переменные $z_1, \dots, z_p$. При этом переменные z могут оказаться сильно закоррелированы с переменными x, и тогда все оценки, если даже они сделаны по методу наименьших квадратов, окажутся смещенными. Чаще всего с такими неприятностями приходится сталкиваться в биологических исследованиях.

Представьте себе, что исследователь изучает действие некоторых условий на поведение крыс. При этом опыты ставятся так, что ежедневно некоторое количество крыс подвергается воздействию одних и тех же условий; условия воздействия меняются только при переходе от одного дня к другому. В результате такого исследования обнаружено, что один из способов воздействия необычайно эффективен – средний результат для всех крыс, испытанных за этот день, во много раз превосходит квадратичную ошибку, которой характеризуется разброс испытаний по отдельным крысам. Исследователь приходит к заключению, что он обнаружил некий бесспорный биологический феномен. Но затем, много времени спустя, кто-то вдруг вздумал повторить этот опыт и ничего похожего не получил. Одно из возможных объяснений такое: в тот злополучный день, когда был получен высокий эффект, лаборантка поссорилась дома с мужем и, придя на работу, выместила свою обиду на крысах – существах очень нервных.

Такого смещения в оценках не происходит, если эксперимент рандомизирован относительно неконтролируемых условий. В рассматриваемом случае надо было бы все способы воздействия испытывать на разных крысах в течение каждого дня. Но технически это совсем не просто осуществить – удобнее в течение одного дня поставить все испытания в одних и тех же условиях. Иногда возникает здесь еще и дополнительная трудность: объектов, предназначенных для ежедневного испытания, может быть меньше, чем вариантов испытаний, и тогда возникает другая задача – рандомизация с наложенными ограничениями.

Планирование эксперимента и возникло в 20–30-х годах нашего века из потребности устранить или хотя бы уменьшить систематические ошибки в сельскохозяйственных

исследованиях путем рандомизации условий проведения эксперимента. И сейчас многие книги, особенно издаваемые за рубежом, излагают представления о планировании эксперимента, исходя из концепции рандомизации [10, 11].

Рандомизация условий проведения эксперимента – это основное требование при постановке всякого грамотного исследования не только в биологии, но и в любой другой области знаний. И в химических лабораториях мы можем столкнуться с тем, что отсутствие надлежащим образом проведенной рандомизации может привести к смещенным оценкам из-за неучтенной неоднородности исходного материала или из-за неконтролируемого изменения во времени экспериментальных установок и тех или иных реагентов. Известен случай, когда диссертанту при защите диссертации был задан вопрос: как могло получиться, что при оценке параметров по двум сериям испытаний, одна из которых проводилась с планированием эксперимента, а другая без него, расхождение получилось столь большим, что вероятность его появления должна быть оценена примерно в 10^{-5}. Ответ здесь простой: процедура планирования оказалась направленной не только на уменьшение дисперсии оцениваемых параметров, но также и на рандомизацию относительно сопутствующих, спонтанно изменяющихся и неконтролируемых переменных. В результате удалось избавиться от смещения в оценках.

Рассмотрим здесь еще пример, заимствованный из практики работы одного металлургического завода. В мартеновском процессе очень важно, чтобы содержание углерода в момент расплавления колебалось в достаточно узких пределах. Естественным было бы стремление организовать процесс плавки так, чтобы содержание углерода в момент расплавления стало регулируемой

величиной. Статистический анализ результатов наблюдений показал, что содержание углерода в момент расплавления линейно зависит от основности шлака ($v = CaO/SiO_2$). Если бы мы захотели воспользоваться этой связью для интерполяции, определяя, скажем, содержание углерода по основности, то все было бы хорошо. Но попытка воспользоваться таким соотношением для регулирования технологического процесса оказалась неудачной. Причину этого легко удалось объяснить. Как содержание углерода в момент расплавления, так и основность определяются одной и той же причиной – содержанием *чугуна* в завалке. Но эта переменная не поддается непосредственному измерению, и поэтому она не включается в уравнение регрессии. В результате в линейном уравнении, связывающем содержание углерода с основностью, коэффициент регрессии оказывается смещенным. Используя это линейное уравнение для интерполяции, мы не нарушаем внутренних связей в системе и поэтому, несмотря на смешанную оценку, получаем правильные результаты.

Однако, как только будет сделана попытка использовать наше уравнение для управления процессом, так сразу же будут нарушены внутренние связи между измеряемыми и неизмеряемыми переменными в системе, и смещенность оценки приведет к бессмысленным *результатам.* <…>

Последнее утверждение предельно важно – метод, позволяющий, казалось бы, достигать математически точного (а что может быть вообще точнее математически точного) *описания процесса*, не позволяет *им управлять*. В разработке такой результат не будет иметь ценности, поскольку не приблизит (или приблизит слишком несущественно) к решению инженерной задачи.

Причем целесообразность применения этих методов сомнительна, хочется подчеркнуть, даже в тех случаях, когда в принципе речь идет все же об измерении, и описание процесса, даже без возможности управления, все-таки может иметь определенный смысл. Предпосылка для этих сомнений, которую я выношу как главную, заключается в следующей особенности, которую надо учитывать, принимая решение о применении или неприменении статистических методов планирования эксперимента. Чтобы планировать эксперимент с учетом последующего применения статистических приемов оценки результата, нужно сначала построить его математическую модель, так как этими методами оцениваются параметры модели, а не что-то в реальном мире.

Иными словами, нужно записать в виде математической модели все предварительно известные данные. Например, процесса взвешивания или процесса плавки. Именно отсюда вытекает то следствие, которое накладывает существенные ограничения на целесообразность применения этих методов. Модель всегда строится так, чтобы отражать *важные для текущей задачи* параметры реальной ситуации, а не все. Потому что смысл модели всегда в том, что она проще реальности.

Когда мы планируем реальный эксперимент, то есть такой, результаты которого нам заранее не известны (мы их только прогнозируем и проверяем свой прогноз практикой), мы не можем знать наверняка, какие параметры модели важны. Вероятность ошибки, такой, как в примере с литьем, крайне высока. Получается, что для снижения дисперсии мы строим модель, результаты расчета которой совершенно не совпадают с данными реального эксперимента, потом итерационно ее

корректируем и в итоге повышаем точность оценки измерений на несколько процентов.

Думается, что в значительном числе случаев, когда эксперимент носит физический, реальный характер, а материалом эксперимента является непосредственный объект изучения, а не его модель (последняя подвержена тем же ошибкам, конечно), цена усилий просто слишком высока. Конечно, это надо оценивать в каждом случае индивидуально, тем более что в цифровой среде, где важность рандомизации может быть ниже, поскольку параметры влияния, в принципе, перечислимы (не всегда, но в основном), для решения каких-то специфических задач это может иметь смысл. Так, для того, чтобы не делать лишней работы, до начала эксперимента нужно ответить себе на вопрос, нужна ли вообще математическая оценка результатов в данном случае и почему[7]. Точно ли нужна такая точность оценки результатов измерения для решения именно этой задачи? Или нужен вообще не расчет (сколько), а оценка (много/мало) либо соотношение (больше/меньше), или требуется вообще установить факт (есть/нет)?

Использование приемов снижения дисперсии там, где не нужно ничего мерить или нужно, но точность несущественна, просто ради демонстрации умения это делать – не украсит работу, поскольку это ошибка выбора инструментария.

По теории планирования эксперимента литературы зарубежных и отечественных авторов огромное количество, для получения общего представления о том, что это такое, можно посоветовать книгу Б. А. Ивоботенко, Н. Ф. Ильинского и И. П. Копылова «Планирование эксперимента в электромеханике» [33]. Именно эта книга отличается тем, что она адресована не математику, а «экспериментатору» и в ней акцент делается на том, чтó именно математические приемы дают инженеру, проводящему эксперимент в области электромеханики, для решения его абсолютно конкретных задач.

[7] Вопрос «почему?» поможет повысить объективность ответа, ведь если исследователю нравится математическая статистика, он легче уговорит себя, что она ему в данном эксперименте нужна, а если не нравится – что не нужна. Если дать объяснение, почему нужна или почему не нужна, то более вероятно, что ответ получится честным.

Необходимо, однако, заметить, что литература по теории эксперимента полезна еще и в том смысле, что она, с одной стороны, позволяет понять более ясно, что представляет собой эксперимент как таковой – это мы увидим на материале главы 1 книги Ч. Хикса «Основные принципы планирования эксперимента» [Хикс], и, с другой стороны, позволяет посмотреть под новым углом на ряд понятий методологического плана: такие примеры – «проверка гипотезы» и «размер выборки» – содержат фрагменты главы 2 той же книги. Еще раз подчеркнув, что для целей разработки в защите информации этот материал малоприменим, так как измерения свойств 137 карбюраторов или чего-то аналогичного вряд ли потребуются для экспериментальной проверки гипотез в исследованиях в этой области знаний, эти фрагменты можно предложить для самостоятельного ознакомления в целях расширения общего фона знаний и представлений.

Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. Гл. 1. С. 13–23; Гл. 2. С. 28–31, 34–38.

ЭКСПЕРИМЕНТ, ПЛАНИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ

1.1. Введение

Цель планирования экспериментов – получить больше информации при меньших затратах, чем это можно сделать традиционными методами. Часто экспериментаторы стремятся лишь к тому, чтобы собрать данные, подогнать их под какую-либо точную компактную формулировку, например «по критерию проверить разность между средними», и сделать некоторые выводы, не обращая внимания на то, каким образом эти данные были собраны. Вероятно, можно сделать более ценные выводы, если, прежде чем собирать и анализировать данные, уделить больше внимания правильному планированию эксперимента.

В этой книге особое внимание уделено трем важным этапам исследовательской работы: *эксперименту*, *планированию* и *анализу*.

1.2. Эксперимент

Эксперимент включает в себя постановку задачи, которая должна решаться. Это звучит слишком очевидно, однако на практике часто требуется довольно значительное время, чтобы достигнуть общего согласия относительно постановки задачи. Очень важно выяснить все точки зрения, чтобы установить цель эксперимента. Аккуратная постановка задачи – большой шаг на пути к ее решению.

Необходимо также выбрать независимую переменную или переменные, которые будут исследоваться. Можно ли их измерить? Насколько точно можно их измерить имеющимися

приборами? Если они не измеримы, какого рода эффект можно ожидать? Если результаты можно представить в виде «да» – «нет» или «идет» – «не идет», то каким распределением они могут быть описаны?

Нужно также установить, какие независимые переменные, или факторы, могут влиять на зависимую переменную, или отклик. Должны ли эти факторы поддерживаться постоянными и возможно ли существование некоторых определенных уровней или же эти величины нужно усреднять в процессе рандомизации? Должны ли уровни факторов устанавливаться на определенных фиксированных значениях, таких, например, как температура 70, 90 и 110° F, либо их значения могут выбираться случайным образом среди всех возможных значений? Как изменяются эти факторы – количественно (например, температура) или качественно (операторы)? Все изложенные здесь аспекты входят в понятие эксперимента.

1.3. Планирование

Наиболее важная фаза работы – планирование, и именно этому вопросу посвящена эта книга. Часто бывает так, что цель эксперимента определена, данные собраны, а выводы сделаны без учета (или почти без учета) того, каким образом были собраны эти данные. Первый вопрос – сколько наблюдений нужно сделать? При определении размера выборки в данном эксперименте важно учитывать, насколько большие различия должны быть оценены, сколько вариантов имеется в наличии и какой допускается риск. При отсутствии такой информации наилучший выход – брать по возможности самую большую выборку. Практически размер выборки часто бывает совершенно произволен. Однако по мере увеличения числа имеющихся в нашем распоряжении

таблиц становится возможным определить размер выборки более объективными методами (см. разд. 2.5).

Кроме того, исключительно важно, чтобы порядок, в котором будет проводиться эксперимент, был рандомизирован. В процессе проведения эксперимента бывает необходимо контролировать некоторые переменные величины на точно определенных уровнях, при этом всегда существует ряд других переменных, которые нельзя проконтролировать. Рандомизация порядка эксперимента будет усреднять эффекты этих неконтролируемых переменных.

Пусть, например, экспериментатор желает сравнить средний ток через счетчики двух типов, имея по 5 счетчиков каждого типа. В каком порядке нужно проверять все 10 счетчиков? Если в процессе испытания происходит некоторый дрейф напряжения в цепи и при этом принято решение проверить сначала 5 счетчиков первого типа, а затем 5 второго, то ток через первые 5 счетчиков (типа I) может показаться большим, чем через 5 остальных (типа II). Однако истинной причиной этого является дрейф в цепи. Случайный порядок проверки позволяет усреднить любой временной тренд. Желательно иметь одинаковый средний ток для счетчиков обоих типов, если только они в этом отношении не отличаются друг от друга. Это достигается с помощью рандомизации. Кроме того, рандомизация позволяет экспериментатору считать ошибки измерения взаимно независимыми; при статистическом анализе это допущение принимается очень часто.

Что такое случайный порядок? Нужно ли полностью рандомизировать весь эксперимент и проводить каждое наблюдение лишь после обращения к таблице случайных чисел, бросания игральной кости или монеты? Или,

например, если в ванне достигнута некоторая температура, то рандомизация проводится лишь при этой определенной температуре, при другой температуре случайный порядок выбирается заново? Другими словами, что такое процедура рандомизации и в каком порядке проводить отдельные опыты? После решения этого вопроса рекомендуется, чтобы экспериментатор внимательно следил за порядком проведения эксперимента.

Как только соглашение о целях эксперимента и способе рандомизации достигнуто, можно построить математическую модель, описывающую эксперимент. Эта модель будет включать в себя отклик как функцию всех факторов, которые должны изучаться, а также некоторые ограничения, налагаемые на эксперимент методом рандомизации.

1.4. Анализ

Окончательный этап – анализ, включает процессы сбора данных, упорядочения их, вычисления некоторых статистик, необходимых для принятия решений относительно различных сторон эксперимента. Анализ включает вычисление таких статистик, как t, F, x^2, и выбор соответствующих правил принятия решений для проверки гипотез относительно математической модели. После вычисления статистик для проверки гипотез нужно принимать решения. Эти решения должны быть даны в терминах, имеющих смысл для экспериментатора. Их нельзя маскировать статистическим жаргоном, таким, как «A × B-взаимодействие третьего порядка статистически значимо при 1%-ном уровне», а нужно представлять их графически или в табличной форме, совершенно понятной экспериментатору и тем лицам, которые заинтересованы в эксперименте. По-

видимому, фактически использованные статистические критерии нужно включать лишь в приложение к отчету об эксперименте. Эти результаты необходимо также использовать как «обратную связь» для лучшего планирования последующих экспериментов, если определенные гипотезы подтвердятся.

1.5. Сводка результатов

I. Эксперимент

А. Постановка задачи.

Б. Выбор отклика, или зависимой переменной.

В. Выбор варьируемых факторов.

Г. Выбор уровней для этих факторов.

1. Количественные или качественные.
2. Фиксированные или случайные.

Д. Подбор сочетаний уровней факторов.

II. Планирование

А. Необходимое число наблюдений.

Б. Порядок проведения эксперимента.

В. Используемый метод рандомизации.

Г. Математическая модель для описания эксперимента.

III. Анализ

А. Сбор и обработка данных.

Б. Вычисление статистик для проверки гипотез.

В. Интерпретация результатов для экспериментатора.

Пример 1.1. Этот пример [12] приведен для иллюстрации этапов планирования эксперимента. Здесь не предполагается, что читатель хорошо знаком с принципами планирования и методами анализа этой проблемы. Эта книга

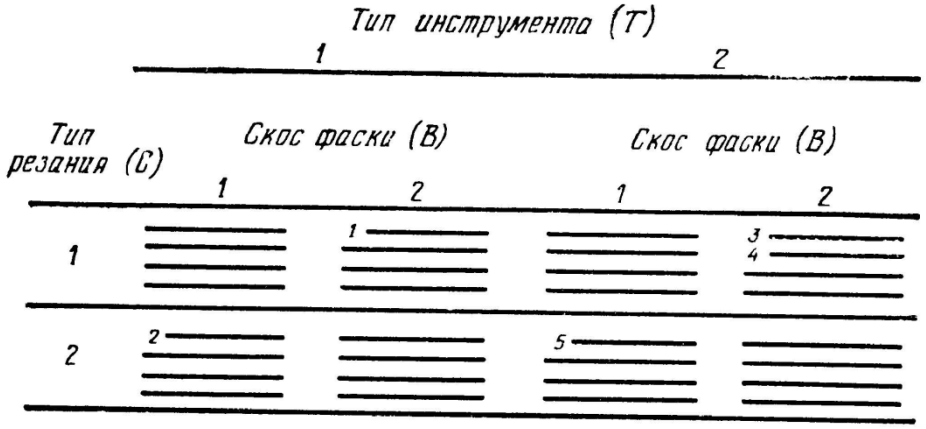
посвящена обсуждению различных принципов планирования и методов анализа, включая те, которые будут использованы в данном примере.

Рассмотрим эксперимент, который планировался для изучения влияния нескольких факторов на затраты мощности при резании металла керамическим инструментом. Металл резали на токарном станке и записывали y, или вертикальную составляющую показаний динамометра. Поскольку эта составляющая пропорциональна затратам мощности при резании, измеренным в лошадиных силах, ее приняли за измеряемую переменную. Составляющая y измеряется по отклонению на записывающем приборе в миллиметрах. Некоторыми из факторов, влияющих на отклонение, являются тип инструмента, угол наклона фаски резца, тип резания, глубина резания, скорость подачи материала и скорость вращения вала. После долгого обсуждения было решено поддерживать постоянными глубину резания 0,25 *см*, скорость подачи материала 0,3 *мм/мин* и скорость вращения вала 1000 *об/мин.* Эти значения соответствовали типичным условиям работы. Главной целью этого исследования было определение влияния остальных трех факторов (тип инструмента, скос фаски и тип резания) на затраты мощности. Поскольку в распоряжении были керамические инструменты лишь двух типов, этот фактор рассматривался при двух уровнях. Для скоса также были приняты два уровня (15 и 30°), соответствующие предельным значениям нормальных условий обработки. Резание было либо непрерывным, либо с прерыванием – снова два уровня.

Таким образом, для каждого из трех факторов имеем два фиксированных уровня, или восемь условий проведения эксперимента (2^3). Такой эксперимент называется факторным

экспериментом типа 2^3, так как два уровня каждого из трех факторов комбинируются с двумя уровнями остальных факторов. Два фактора (тип инструмента и тип резания) являются качественными факторами, а скос фаски представляет собой количественный фактор (15 и 30°).

При планировании этого эксперимента необходимо выяснить, сколько раз проводить опыты при каждом из восьми экспериментальных условий. После предварительного обсуждения предполагаемой изменчивости при этих восьми условиях и затрат в случае неправильных решений было решено брать по четыре наблюдения при каждом из этих восьми условий, что в сумме дает 32 наблюдения.



Фиг. 1.1. Схема экспериментальных условий в задаче по изучению затрат мощности

Чтобы полностью рандомизировать порядок получения этих 32 показаний, экспериментатор принял решение определить порядок проведения опытов путем подбрасывания трех монет. Монета достоинством 1 цент соответствовала типу инструмента (*Т*): герб – первый тип, решетка – второй; монета достоинством 5 центов соответствовала скосу (*В*): герб – 30°, решетка – 15°, а монета достоинством 10 центов представляла способ резания (*С*): герб – прерывистый, решетка – непрерывный. Таким образом, если при первом бросании

монет выпадала последовательность «решетка – герб – решетка» (РГР), то использовался инструмент второго типа, скос 30° и непрерывный способ резания. На фиг. 1.1 представлены все 32 сочетания факторов. Цифры 1, 2, 3, 4, 5 указывают те комбинации факторов, которые соответствуют первым пяти опытам при условии, что при пяти бросаниях были получены сочетания РГР, РРГ, ГГР, ГГР, ГРГ.

Здесь нужно заметить, что одно и то же сочетание условий может повториться (как, например, в опытах 3 и 4) прежде, чем все восемь сочетаний появятся по одному разу. Единственное ограничение на полную рандомизацию в этом случае состоит в том, что если какое-либо сочетание факторов появилось четыре раза, то в дальнейшем оно исключается.

Бросание монет продолжается до тех пор, пока не будут проведены все 32 опыта. Таким образом, достигается полная рандомизация факторного эксперимента типа 2^3 с четырьмя наблюдениями каждого состояния. Полная рандомизация обеспечивает усреднение всех эффектов, которые могут быть связаны с временем проведения эксперимента. Если бы скорость вращения вала менялась и во время эксперимента сначала испытывались все инструменты типа 1 и только затем инструменты типа 2, то этот посторонний эффект изменения скорости можно было бы принять за различие между типами инструментов, если бы в начале эксперимента скорость была больше, а к концу эксперимента уменьшилась.

Математическую модель для этого эксперимента и данного плана можно представить как

$$X_{ijkm} = \mu + T_i + B_j + TB_{ij} + C_k + TC_{ik} + BC_{jk} + TBC_{ijk} + \varepsilon_{m(ijk)},$$

где X_{ijkm} – измеряемая величина, μ – общий эффект во всех наблюдениях (истинное среднее совокупности, из которой получена выборка), T_i соответствует эффекту типа инструмента (i = 1, 2), B_j представляет эффект скоса (j = 1, 2), C_k соответствует

эффекту типа резания (k = 1, 2), $\varepsilon_{m(ijk)}$ – случайная ошибка в эксперименте (m = 1, 2, 3, 4). Остальные члены соответствуют взаимодействию основных факторов T, B и C.

Анализ данного эксперимента состоит в том, чтобы сделать выводы по 32 показаниям, полученным при условиях, указанных на фиг. 1.1, при полной рандомизации. Результаты представлены в табл. 1.1 (отклонения даны в миллиметрах).

Таблица 1.1. Результаты испытаний при изучении затрат мощности

Тип резания (C)	Тип инструмента (T)			
	1		*2*	
	скос фаски (B)		скос фаски (B)	
	15°	30°	15°	30°
Непрерывный	29,0	28,5	28,0	29,5
	26,5	28,5	28,5	32,0
	30,5	30,0	28,0	29,0
	27,0	32,5	25,0	28,0
Прерывистый	28,0	27,0	24,5	27,5
	25,0	29,0	25,0	28,0
	26,5	27,5	28,0	27,0
	26,5	27,5	26,0	26,0

Данный эксперимент и математическая модель предполагают использование трехфакторного дисперсионного анализа, результаты которого приведены в табл. 1.2.

При проверке гипотез о том, что эффекты типа инструмента, скоса фаски, способа резания, а также эффекты взаимодействия этих факторов отсутствуют, все наблюденные средние квадраты должны быть сопоставлены со средним квадратом ошибки, равным 2,23 с 24 степенями свободы (приложение, табл. Г). Подходящей статистикой для проверки гипотез будет F-статистика с 1 и 24 степенями свободы. Для 5%-ного уровня значимости (a = 0,05) критическая область $F \geq 4{,}26$. Сравнение каждого среднего

квадрата со средним квадратом ошибки показывает, что можно отвергнуть лишь две гипотезы: скос фаски и тип резания не влияют на отклонение. Ни одну из остальных гипотез отвергнуть нельзя.

Таблица 1.2. Результаты дисперсионного анализа при изучении затрат мощности

Источник изменчивости	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Математическое ожидание средних квадратов
Тип инструмента (T)	1	2,82	2,82	$\sigma_e^2 + 16\sigma_T^2$
Скос фаски (B)	1	20,32	20,32*	$\sigma_e^2 + 16\sigma_B^2$
$T \times B$-взаимодействие	1	0,20	0,20	$\sigma_e^2 + 8\sigma_{TB}^2$
Тип резания (C)	1	31,01	31,01*	$\sigma_e^2 + 16\sigma_e^2$
$T \times C$-взаимодействие	1	0,01	0,01	$\sigma_e^2 + 8\sigma_{TC}^2$
$B \times C$-взаимодействие	1	0,94	0,94	$\sigma_e^2 + 8\sigma_{BC}^2$
$T \times B \times C$-взаимодействие	1	0,19	0,19	$\sigma_e^2 + 4\sigma_{TBC}^2$
$\varepsilon_{m(ijk)}$ – ошибка	24	53,44	2,33	σ_e^2
Сумма . . .	31	108,93		

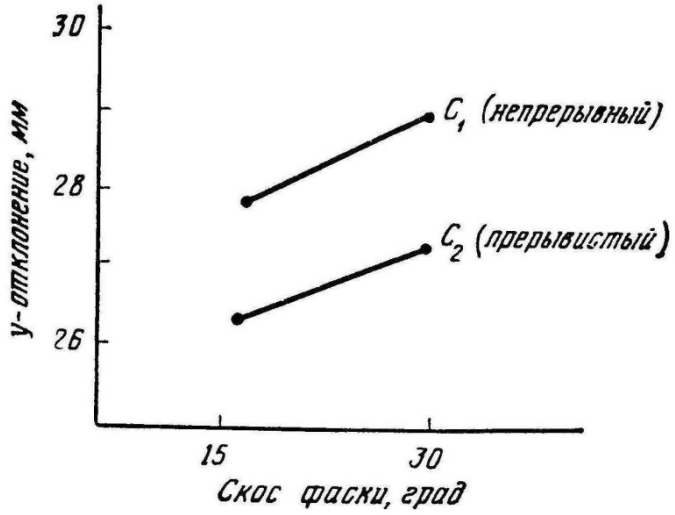
Таблица 1.3. **Средние y-отклонения**

Тип инструмента	1	2
Среднее y-отклонение	28,1	27,5
Скос фаски	15°	30°
Среднее y-отклонение	27,0	28,6
Тип резания	1	2
Среднее y-отклонение	28,8	26,8

Следовательно, только угол наклона и тип резания влияют на затраты мощности, измеренные через составляющую y-отклонения динамометра.

Оказалось, что тип инструмента оказывает незначительное воздействие на y-отклонение, а все взаимодействия факторов пренебрежимо малы. Вычисления по исходным

данным табл. 1.1 дают средние y-отклонения, приведенные в табл. 1.3.



Фиг. 1.2. Взаимодействие $B \times C$ в примере по изучению затрат мощности

Эти средние значения, по-видимому, подтверждают вывод о том, что угол наклона влияет на y-отклонение; для угла 30° требуется большая мощность, чем для угла 15° (заметим, что разница в средних y-отклонениях составляет 1,6 *мм*). Среднее отклонение для непрерывного типа резания на 2 *мм* больше среднего отклонения для прерывистого резания. Разность 0,6 *мм* между средними, соответствующими разным типам инструмента, не является статистически значимой (при 5%-ном уровне значимости). Из фиг. 1.2 видно, что взаимодействия факторов *B* и *C* не являются значимыми.

Нетрудно заметить, что y-отклонение возрастает с увеличением скоса фаски. Тот факт, что линия C_1 (непрерывный тип резания) лежит выше линии C_2 (прерывистый тип резания), показывает, что для непрерывного типа резания нужна большая мощность. То обстоятельство, что эти линии почти параллельны, характеризует отсутствие взаимодействия между этими факторами. Легко показать также, что при увеличении скоса фаски среднее y-отклонение возрастает

независимо от типа резания. Это еще раз указывает на отсутствие взаимодействия факторов.

Выше был рассмотрен трехфакторный эксперимент с двумя уровнями для каждого фактора. План полностью рандомизирован и применялся трехфакторный дисперсионный анализ с четырьмя наблюдениями для каждого условия. По результатам эксперимента не только обнаружены факторы, влияющие на затраты мощности (скос фаски и тип резания), но и установлено, что в интервале изменения факторов безразлично, какой из типов инструмента применять, и что между этими тремя факторами нет статистически значимых взаимодействий.

Это далеко не единственный пример, иллюстрирующий три этапа эксперимента: постановку задачи, планирование и анализ. <…>

2.3. Проверка гипотез

Статистическая гипотеза есть некоторое предположение относительно свойств совокупности, из которой производится выборка. Обычно оно состоит в том, что одному или нескольким параметрам совокупности приписывается некоторое значение. Например, можно предположить, что автомобиль с определенным типом карбюратора может проехать в среднем 19,5 *км*, израсходовав 1 *л* бензина. Эту гипотезу можно записать как $H_0: \mu = 19{,}5$ *км/л*. Такое значение среднего μ обычно принимается исходя из опыта с аналогичными карбюраторами. Примером другой гипотезы может служить предположение, что дисперсия веса за неделю наполненных пузырьков равна 40 $г^2$ или $H_0: \sigma^2 = 40$ $г^2$. Чтобы проверить гипотезы такого рода, другие параметры или считаются известными, или оцениваются по данным случайной выборки из этой совокупности.

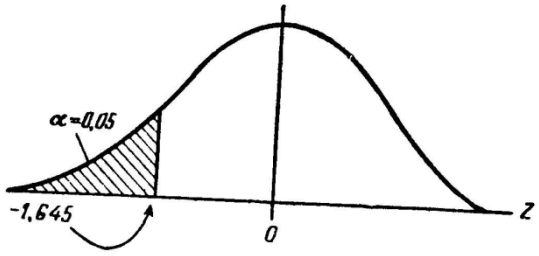
Проверка гипотезы – просто правило, по которому

гипотеза принимается или отвергается. Такое правило обычно основывается на выборочных статистиках, которые в этом случае называются *статистиками для проверки гипотез.* Например, правило может состоять в том, что гипотеза $H_0: \mu = 19{,}5$ *км/л* отвергается в случае, если при испытании окажется, что среднее $\overline{X}$ выборки из 25 карбюраторов не превышает 18 *км/л. Критическая область* статистики для проверки гипотез состоит из всех значений статистики, при которых принимается решение отвергнуть гипотезу H_0. В приведенном примере критической областью для проверочной статистики $\overline{X}$ является область, в которой $\overline{X} \leq 18{,}0$ *км/л.*

Так как проверка гипотез основывается на наблюденных выборочных статистиках, вычисленных по n наблюдениям, то при принятии решений всегда возможны ошибки. Если отвергается в действительности верная гипотеза, то это означает, что совершается *ошибка первого рода.* Вероятность ошибки первого рода обозначается через a. Если принимается неверная гипотеза H_0, т. е. в действительности верна некоторая альтернативная гипотеза, то мы делаем *ошибку второго рода*, вероятность которой обозначается через β. Вероятности a и β часто рассматриваются как риск принять неправильные решения, поэтому одной из *целей* при проверке гипотез является построение критерия, для которого и a и β были бы малы. В большинстве случаев устанавливается некоторое заранее определенное значение a, и правило принятия решения формулируется таким образом, чтобы минимизировать β. В работах по контролю качества a – риск производителя, β – риск потребителя.

Чтобы сделать обзор теории проверки гипотез, необходимо выделить ряд последовательных этапов, которые применимы к большинству типов гипотез и статистик для

проверки гипотез. Для иллюстрации эти этапы будут прослежены на простом примере.

Этапы в задаче проверки гипотез	*Примеры*
1. Определить гипотезу и ее альтернативу.	1. H_0: $\mu = 19{,}5$ *км/л*, H_1: $\mu < 19{,}5$ *км/л.*
2. Установить уровень значимости (ошибку первого рода).	2. *a = 0,05.*
3. Выбрать статистику для проверки гипотезы H_0.	3. Статистика $\bar{X}$ или нормированное $\bar{X}$: $Z = \frac{\bar{X}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}}$ (принимаем $\sigma = 2$).
4. Определить выборочное распределение этой статистики, когда верна гипотеза H_0.	4. Статистика $\bar{X}$ распределена по нормальному закону со средним μ и средним квадратическим отклонением $\sigma/\sqrt{n}$. Или Z имеет распределение $N(0,1)$.
5. Установить критическую область для проверки гипотезы H_0, при этом гипотеза H_0 будет отвергнута в 100*a*% *выборок, когда она верна.*	 *Критическая область:* $z \leq -1{,}645$
6. Получить случайную выборку размера *n, вычислить по ней статистику и решить, верна ли гипотеза* H_0.	6. Если *n = 25 и* $\bar{X} = 18{,}9$ *км/л,* $Z = \frac{18{,}9-19{,}5}{2/\sqrt{25}} = -1{,}5$. *Так как -1,5 > -1,645, то гипотеза* H_0 не отвергается.

В этом примере использовался односторонний критерий. Это обусловлено видом альтернативной гипотезы, так

как мы хотим отвергнуть гипотезу H_0 только в том случае, когда наблюдаются малые значения $\bar{X}$. Уровень значимости *a* часто произвольно полагается равным 0,05 или 0,01. Это должно отражать серьезность того факта, что многие карбюраторы будут исключены, тогда как в действительности они удовлетворяют требованиям, т. е. среднее совокупности не менее 19,5 *км/л*. При использовании нормально распределенной случайной величины Z предполагается, что значение σ известно; в том случае, когда значение σ неизвестно, могут использоваться различные статистики, например *t*-статистика (статистика Стьюдента). Критическую область также можно выразить через $\bar{X}$, используя критическое значение случайной величины Z, равное $-1{,}645$,

$$-1{,}645 = \frac{\bar{X}_C - 19{,}5}{2/\sqrt{25}},$$

или $\bar{X}_C$ = 18,8. Теперь правило принятия решения можно выразить следующим образом: гипотеза H_0 отвергается, если $\bar{X} \leq 18{,}8$. Здесь $\bar{X}$ = 18,9 и гипотеза не отвергается.

Приведенная выше процедура может быть применена для проверки различных гипотез. Характер задачи должен подсказать, какие именно статистики нужно использовать для проверки гипотез. Для определения требуемой критической области можно воспользоваться соответствующими таблицами. Известны следующие критерии для проверки гипотез: относительно одного среднего значения, двух средних значений с различными допущениями относительно соответствующих дисперсий, одной дисперсии и двух дисперсий. Различные критерии широко обсуждаются в книге Диксона и Массе [6, стр. 88–138]. <…>

2.5. Размер выборки

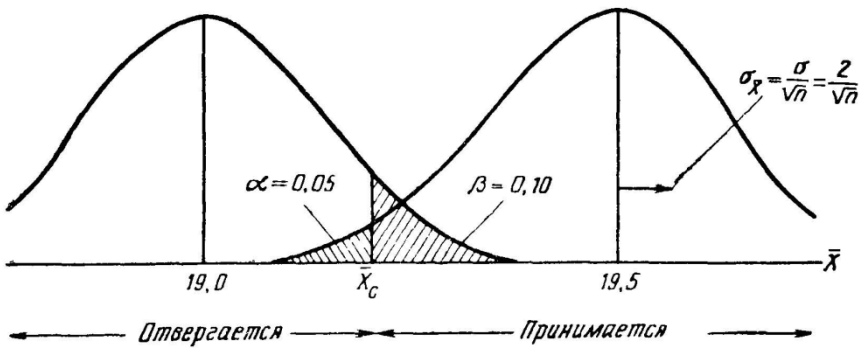
Часто возникает вопрос, какого размера выборку из совокупности нужно брать для проверки гипотезы? Ответ на этот вопрос можно получить, если экспериментатор в свою очередь ответит на каждый из следующих вопросов:

1) Какова величина смещения параметра (например, от 19,5 к 19,0), которое желательно обнаружить?

2) Какова величина изменчивости совокупности? (Например, на основании опыта $\sigma = 2$ *км/л.)*

3) Какой размер риска желательно принять? (Например, a= 0,05, β= 0,10).

Если эти числовые величины могут быть по крайней мере оценены, то можно определить размер выборки. Пусть имеется два выборочных распределения: одно для $\bar{X}$, когда гипотеза H_0: $\mu = 19{,}5$ верна, и другое, когда верна альтернативная гипотеза: $\mu = 19{,}0$.



Фиг. 2.5. Определение размера выборки

Обозначим через $\overline{X_c}$ значение, лежащее между двумя средними μ, которое окажется критической точкой. Таким образом, для наблюденных значений $\bar{X}$, меньших $\overline{X_c}$, гипотеза H_0 отвергается, а для больших значений принимается. Величины α и β показаны на приведенных графиках. Запишем систему двух уравнений, нормирующих

значение $\overline{X_c}$, во-первых, относительно $\mu = 19{,}5$ (уравнение, соответствующее α) и, во-вторых, относительно $\mu = 19{,}0$ (уравнение, соответствующее β). Решим эти уравнения относительно n и $\overline{X_c}$.

Уравнение, соответствующее а: $\frac{\overline{X_c}-19{,}5}{2/\sqrt{n}} = -1{,}645$ (так как α = 0,05).

Уравнение, соответствующее β: $\frac{\overline{X_c}-19{,}0}{2/\sqrt{n}} = 1{,}282$ (так как β = 0,1).

Вычитая второе уравнение из первого и умножая обе части каждого на $2/\sqrt{n}$, получаем

$$-0{,}5 = -2{,}927\left(\frac{2}{\sqrt{n}}\right),$$

$$\sqrt{n} = \frac{5{,}854}{0{,}5} = 11{,}71,$$

$$n = (11{,}71)^2 = 136{,}9 \text{ или } 137.$$

Полагая α = 0,05, имеем

$$\bar{X}_c = 19{,}5 - 1{,}645\left(\frac{2}{\sqrt{137}}\right) = 19{,}22 \text{ км/л.}$$

Теперь правило решения таково: возьмем случайную выборку из 137 карбюраторов, и если среднее значение для этой выборки меньше 19,22 *км/л*, то отвергаем гипотезу H_0, а в противном случае принимаем гипотезу H_0.

Существуют хорошие таблицы для определения n в некоторых случаях проверки гипотез, например таблицы Дэвиса [5, стр. 606–615], Оуэна [13, стр. 19, 23, 36, 41] и др.

Пример 2.1 (дисперсия). В качестве другого примера проверки гипотезы рассмотрим гипотезу о равенстве дисперсий двух нормальных совокупностей. Мы включили этот пример, поскольку рассматриваемая здесь статистика для проверки гипотез имеет множество приложений в последующих главах.

Следуя приведенным в разд. 2.3 этапам, имеем

1. $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2, H_1: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$.
2. α = 0,05.

3. Статистика для проверки гипотезы

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}.$$

(Эта величина часто называется дисперсионным отношением, здесь S_1^2 имеет $n_1 - 1$ степеней свободы, а S_2^2 имеет $n_2 - 1$ степеней свободы.)

4. Если эти две выборки взяты независимо из нормальных совокупностей и гипотеза H_0 верна, то статистика F имеет асимметричное распределение, образованное как отношение двух независимых x^2-распределений. В табл. Г приложения дается несколько квантилей F-распределения. Входами в эту таблицу являются значения числа степеней свободы для числителя ($n_1 - 1$) и числа степеней свободы для знаменателя ($n_2 - 1$).

5. Критическая область в этом примере есть множество $F \geq F_{0,95}$ ($\alpha = 0{,}05$) с числом степеней свободы, зависящим от размера обеих выборок.

6. Если результат первой выборки таков, что

$$n_1 = 8,\ S_1^2 = 156,$$

а для второй выборки

$$n_2 = 10,\ S_2^2 = 100,$$

то

$$F = \frac{156}{100} = 1{,}56,$$

а критическая область $F \geq 3{,}29$ для 7 и 9 степеней свободы. Поэтому гипотеза не отвергается. <…>

Наконец, несколько слов необходимо сказать о рандомизации эксперимента, поскольку такие факторы, как различие напряжения в электрической сети день ото дня, разная загруженность каналов связи и прочие факторы внешней, не контролируемой исследователем среды проведения эксперимента, влияние которой не всегда следует именно исключать, а зачастую, напротив, следует принимать во внимание, актуальны и для исследований в сфере защиты информации.

Если задачей эксперимента является сравнение каких-то параметров, то все проверки в рамках эксперимента со всеми группами объектов нужно проводить в одинаковых условиях. Это не всегда возможно, так как, даже если стенд позволяет одновременно экспериментировать со всеми объектами, все проверки могут не уложиться в один день (или иной период, в рамках которого условия получаются условно одинаковыми). В этом случае план эксперимента делают блочным. То есть планируются блоки проверок над набором объектов, составленные таким образом, чтобы их распределение по периодам обеспечило равномерность влияния на результат неконтролируемых факторов. В простейшем случае у нас есть 4 типа объектов (например, планшеты 4 марок), есть 6 видов проверок, чувствительных к напряжению в электрической сети, параллельно можно проводить 4 проверки, и за один период (предположим, день) можно осуществить последовательно 4 проверки. Очевидно, что блок будет построен так: проверки ведутся одновременно на 4 разных планшетах, за один день проводятся 4 первые проверки, за второй – 2 оставшиеся на всех 4, а затем 2 из первых – на 2 и еще 2 из первых – на вторых двух. Таким образом, мы получаем данные, позволяющие оценить отклонения под влиянием неконтролируемых факторов, свободные от жесткой связи с моделью планшета.

Описание более сложного случая, требующего наложения на эксперимент дополнительных ограничений, приведем в виде еще одного фрагмента книги Хикса.

Наибольший интерес этот материал представляет не столько с точки зрения *способов расчета качества* результатов измерений, являющихся основным содержанием книги, сколько с точки зрения описания *принципиальных подходов к организации проверок*, самой рандомизации условий, а не вычислений ее свойств.

4.7. Неполные рандомизированные блоки. Ограничение, налагаемое на эксперимент

Метод сбалансированных блоков

Иногда в рандомизированных блочных планах может оказаться невозможным использовать все варианты в каждом блоке. Если бы, например, в предыдущем примере нужно было испытать шесть марок шин, то, поскольку четыре из них можно испытывать на данной машине (не используя прицепа), то соответствующие блоки оказались бы неполными: в каждом из них было бы только четыре из шести вариантов испытаний.

Рассмотрим задачу определения влияния четырех способов обработки нитей накала катодов в телевизионных трубках на силу тока. Так как осуществление каждого способа обработки требует некоторого времени, то несколько наблюдений для каждого из этих способов за один день провести невозможно. Если принять дни за блоки, то, чтобы получить рандомизированное блочное планирование, нужно все четыре способа осуществлять в случайном порядке в течение каждого дня. После проверки оказалось, что за один день можно провести не четыре варианта, а самое большее три. Тогда возникает вопрос: какие из вариантов обработки осуществлять в первый день, во второй и т. д., чтобы получить информацию относительно всех четырех вариантов.

Чтобы решить эту задачу, нужно использовать сбалансированное неполноблочное планирование. *Неполноблочный план* – это план, в котором вариантов имеется больше, чем может поместиться в один блок. *Сбалансированный неполноблочный план* – неполноблочный план, в котором каждая пара вариантов

встречается в эксперименте одно и то же число раз. Таблицы таких планов имеются у Фишера и Йетса [8]. Количество блоков, необходимое для того, чтобы сделать план сбалансированным, зависит от числа вариантов, которые можно поместить в блоке.

В упомянутом примере имеется четыре варианта, в блоке помещается только три варианта. Чтобы осуществить сбалансированный план для этой задачи, нужно использовать четыре блока (четыре дня), как это показано в табл. 4.10.

Таблица 4.10. Сбалансированный неполноблочный план для задачи с телевизионной трубкой

Блоки (дни)	**Варианты испытаний**				$T_{i\cdot}$
	A	*B*	*C*	*D*	
1	2	—	20	7	29
2	—	32	14	3	49
3	4	13	31	—	48
4	0	23	—	11	34
$T_{\cdot j}$	6	68	65	21	160 = $T_{\cdot\cdot}$

В этом плане только варианты *A*, *C* и *D* осуществляются в первый день; *B*, *C* и *D* – во второй день и т. д. Заметим, что каждые два варианта условий испытаний, например *AB*, совместно встречаются в течение эксперимента дважды. Они оказываются вместе в третий и четвертый дни; *C* и *D* встречаются совместно в первый и второй дни и т. д. Как и в рандомизированных полноблочных планах, порядок проведения вариантов испытаний в течение каждого дня полностью рандомизирован.

Для облегчения анализа плана введем несколько новых обозначений. Пусть

b – число блоков в эксперименте (6 = 4);

t – число вариантов в эксперименте (*t* = 4);

k – число вариантов в блоке (*k* = 3);

r – число повторений данного варианта в эксперименте (*r* = 3);

N – общее число наблюдений = *bk* = *tr* (*N* = 12);

$\boldsymbol{\lambda}$ – число повторений каждой пары вариантов в эксперименте = $r(k-1)/(t-1)$ ($\boldsymbol{\lambda} = 2$).

В табл. 4.10 приведены отсчеты, закодированные путем вычитания 513 *ма*, а также суммы по блокам и вариантам. Сбалансированный неполноблочный план далее можно проанализировать следующим образом:

1. Подсчитать, как обычно, общую сумму квадратов

$$SS_{\text{общ}} = \sum_i \sum_j X_{ij}^2 - \frac{T_{..}^2}{N} = 3478 - \frac{(160)^2}{12} = 1344{,}67$$

2. Подсчитать сумму квадратов по блокам, игнорируя варианты испытаний,

$$SS_{\text{бл}} = \sum_{i=1}^{b} \frac{T_i^2}{k} - \frac{T_{..}^2}{N} =$$

$$= \frac{(29)^2 + (49)^2 + (48)^2 + (34)^2}{3} - \frac{(160)^2}{12} = 100,67.$$

3. Подсчитать эффекты изменения вариантов испытаний, скорректированные по блокам,

$$SS_{\text{исп}} = \frac{\sum_{j=1}^{t} Q_j^2}{k\lambda t}. \qquad (4.7)$$

где

$$Q_i = kT_{.j} - \sum_i n_{ij} T_{i.}, \qquad (4.8)$$

причем $n_{ij} = 1$, если вариант испытания j содержится в блоке i, и $n_{ij} = 0$, если он не содержится в блоке i. Заметим, что $\sum_i n_{ij}\, T_i$. сумма всех блочных сумм по блокам, содержащим вариант испытания j.

Для имеющихся данных

$$\begin{aligned} Q_1 &= 3(6) - [29 + 48 + 34] = 18 - 111 = -93 \\ Q_2 &= 3(68) - 131 = 73 \\ Q_3 &= 3(65) - 126 = 69 \\ Q_4 &= 3(21) - 112 = -49 \\ &\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad 0 \end{aligned}$$

Заметим, что всегда имеет место соотношение

$$\sum_{j=1}^{t} Q_j = 0.$$

Тогда

$$SS_{\text{исп}} = \frac{(-93)^2+(73)^2+(69)^2+(-49)^2}{3 \cdot 2 \cdot 4} = 880{,}83.$$

4. Подсчитать сумму квадратов для ошибки

$SS_{\text{ош}} = SS_{\text{общ}} - SS_{\text{бл}} - SS_{\text{исп}} = 1344{,}67 - 100{,}67 - 880{,}83 = 363{,}17.$

В табл. 4.11 приведены результаты дисперсионного анализа этих данных.

Таблица 4.11. Результаты дисперсионного анализа для примера с неполноблочным планированием

Источник изменчивости	**Число степеней свободы**	**Сумма квадратов**	**Средний квадрат**
Блоки (дни)	3	100,67	—
Варианты испытаний	3	880,83	293,61
(скорректированные) Ошибка	5	363,17	72,63
Сумма	11	1344,67	

F-критерий дает $F_{3,5}$= 293,61/72,63 = 4,04, т. е. результат незначим с 5%-м уровнем значимости (см. приложение, табл. Г).

Представленное в табл. 4.11 число степеней свободы для ошибки определяется по разности. Это число степеней свободы для ошибки является произведением числа степеней свободы для блоков и вариантов испытаний (9), если учесть, что за счет того, что в плане четыре пропущенных величины, из него вычитается 4.

Может оказаться, что в некоторых неполноблочных планах желательно проверить межблоковый эффект. В табл. 4.11 не были подсчитаны средние квадраты для блоков, так как они не были скорректированы для вариантов испытаний. В случае *симметричных сбалансированных неполноблочных рандомизированных планов* при $b = t$ суммы квадратов для блоков можно скорректировать тем же способом, что и суммы квадратов для вариантов

$$Q_i' = rT_{i.} - \sum_j n_{ij}\, T_{.j}$$

$$Q_1' = 3(29) - 92 = -5$$
$$Q_2' = 3(49) - 154 = -7$$
$$Q_3' = 3(48) - 139 = +5$$
$$Q_4' = 3(34) - 95 = +7$$
$$\overline{\textstyle\sum_i Q_i' = 0}$$

$$SS_{\text{бл}} = \sum_{i=1}^{b} (Q_i')^2 / r\lambda b = \frac{(-5)^2 + (-7)^2 + (5)^2 + (7)^2}{3 \cdot 2 \cdot 4} = 6{,}17$$

и

$$SS_{\text{исп(нескоррект.)}} = \frac{6^2+68^2+65^2+21^2}{3} - \frac{(160)^2}{12} = 975{,}34.$$

Результаты такой корректировки и результаты по вариантам испытаний для такого симметричного случая можно представить так, как показано в табл. 4.12.

Таблица 4.12. Результаты дисперсионного анализа для примера с неполноблочным планированием для вариантов и блоков

Источник изменчивости	**Число степеней свободы**	**Сумма квадратов**	**Средний квадрат**
Блоки (скоррект.)	3	6,17	2,06
Блоки	(3)	(100,67)	—
Варианты испытаний (скоррект.)	3	880,83	293,61
Варианты испытаний	(3)	(975,34)	—
Ошибки	5	363,17	72,63
Сумма	11	1344,67	

Члены в скобках приведены только для того, чтобы показать, как подсчитывается ошибка при использовании одного скорректированного и одного нескорректированного эффекта.

$$SS_{\text{ош}} = SS_{\text{общ}} - SS_{\text{исп}} - SS_{\text{бл(скоррект.)}} = 1344{,}67 - 880{,}83 - 100{,}67 = 363{,}17$$

или

$$SS_{\text{ош}} = SS_{\text{общ}} - SS_{\text{исп}} - SS_{\text{бл(скоррект.)}} = 1344{,}67 - 975{,}34 - 6{,}17 = 363{,}17.$$

Следует заметить, что окончательные значения сумм квадратов, которые использовались в табл. 4.12 для получения

значений средних квадратов, при сложении не дают общей суммы квадратов. Это характерно для неортогональных планов. *F*-критерий для блоков не проверялся, так как значение *F*-отношения, очевидно, очень мало, что указывает на отсутствие изменения силы тока ото дня ко дню.

Для несимметричных, или несбалансированных, планов общий регрессионный критерий значимости может оказаться полезным альтернативным методом. Если подсчитаны контрасты для неполноблочного плана, то можно показать, что сумма квадратов для контрастов задается следующим выражением:

$$SS_{C_m} = \frac{(C_m)^2}{\left(\sum_{j=1}^{t} c_{jm}^2\right) k\lambda t}, \qquad (4.9)$$

где контрасты C_m определяются величинами Q_j, а не $T_{.j}$.

Общее регрессионное приближение для рандомизированного неполноблочного планирования

Применяя для проверки значимости данных табл. 4.10 общий регрессионный критерий, получаем нормальные уравнения

$$\left.\begin{array}{l}
160 = 12m + 3t_1 + 3t_2 + 3t_3 + 3t_4 + 3b_1 + 3b_2 + 3b_3 + 3b_4 \\
29 = 3m + t_1 + t_3 + t_4 + 3b_1 \\
49 = 3m + t_2 + t_3 + t_4 + 3b_2 \\
48 = 3m + t_1 + t_2 + t_3 + 3b_3 \\
34 = 3m + t_1 + t_2 + t_4 + 3b_4 \\
6 = 3m + 3t_1 + b_1 + b_3 + b_4 \\
68 = 3m + 3t_2 + b_2 + b_3 + b_4 \\
65 = 3m + 3t_3 + b_1 + b_2 + b_3 \\
21 = 3m + 3t_4 + b_1 + b_2 + b_4
\end{array}\right\} \qquad (4.10)$$

Так как

$$\sum_i b_i = \sum_j t_j = 0,$$

из первого уравнения в (4.10) имеем

$$m = \frac{160}{12}.$$

Для получения решения относительно t можно применить следующий метод: умножим шестое уравнение в (4.10) на 3 и прибавим результат к третьему уравнению

$6-\text{e}\times 3:\ 18 = 9m + 9t_1 + 3b_1 + 3b_3 + 3b_4$

$3-\text{e}:\ 49 = 3m + t_2 + t_3 + t_4 + 3b_2$

Сумма: $67 = 12m + 9\,t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + 3\sum_i^4 b_i$

или

$$67 = 12m + 8\,t_1 + \sum_{j=1}^{1} t_j + 3\sum_{i=1}^{4} b_i,$$

или

$$t_1 = \frac{67-12m}{8},\ \text{так как}\ \Sigma t_j = \Sigma b_i = 0,$$

$$t_1 = \frac{67-12\left(\frac{160}{12}\right)}{8} = \frac{67-160}{8} = -\frac{93}{8}.$$

Аналогично, используя седьмое и второе уравнения, получаем

$$t_2 = \frac{233-160}{8} = \frac{73}{8}.$$

Из восьмого и пятого уравнений находим

$$t_3 = \frac{229-160}{8} = \frac{69}{8}.$$

Из девятого и четвертого уравнений имеем

$$t_4 = \frac{111-160}{8} = \frac{-49}{8},$$

$$\sum_{j=1}^{4} t_j = 0.$$

Заметим, что эти величины t_j пропорциональны значениям $Q_j,\ t_j = Q_j/8$.

Так же, исключая t, можно получить b. Второе и седьмое уравнения дают

$2-\text{e}\times 3:\ 87 = 9m + 3t_1 + 3t_3 + 3\,t_4 + 9b_1$

$7-\text{e}:\ 68 = 3m + 3t_2 + b_2 + b_3 + b_4,$

Сумма: $155 = 12m + 3\sum_j t_j + 8b_1 + \sum_i b_i$

$$b_1 = \frac{155-12m}{8} = \frac{155-160}{8} = -\frac{5}{8}.$$

Аналогично

$$b_2 = \frac{153-160}{8} = -\frac{7}{8},$$
$$b_3 = \frac{165-160}{8} = \frac{5}{8},$$
$$b_4 = \frac{167-160}{8} = \frac{7}{8},$$
$$\sum_{i=1}^{4} b_i = 0.$$

Опять b_i пропорциональны Q_i'.

$$SS_{\text{регр}}(m, b_i, t_j) = mT_{\cdot\cdot} + \sum_i b_i T_i + \sum_j t_j T_{\cdot j},$$

$$SS_{\text{регр}}(m, b, t) = \left(\frac{160}{12}\right)(160) + \left(-\frac{5}{8}\right)(29) + \left(-\frac{7}{8}\right)(49) + \left(\frac{5}{8}\right)(48) + \left(\frac{7}{8}\right)(34) +$$
$$\left(-\frac{93}{8}\right)(6) + \left(\frac{73}{8}\right)(68) + \left(\frac{69}{8}\right)(65) + \left(-\frac{49}{8}\right)(21) = 3114{,}83,$$
$$SS_{\text{ош}} = \sum_i \sum_j X_{ij}^2 - SS_{\text{регр}}(m, b, t) = 3478 - 3114{,}83 = 363{,}17 \text{ (как и раньше).}$$

Для проверки гипотезы: $H_0: T_j = 0$ для всех j имеем упрощенную модель $X_{ij} = m' + b_i' + e_{ij}'$ и нормальные уравнения

$$160 = 12m' + 3b_1' + 3b_2' + 3b_3' + 3b_4',$$
$$29 = 3m' + 3b_1',$$
$$49 = 3m' + 3b_2',$$
$$48 = 3m' + 3b_3',$$
$$34 = 3m' + 3b_4'.$$

Решая, получаем $m' = 160/12$ (как и раньше), но

$$b_1' = \frac{29-3m}{3} = -\frac{11}{3},$$
$$b_2' = \frac{49-3m}{3} = \frac{9}{3},$$
$$b_3' = \frac{48-3m}{3} = \frac{8}{3},$$
$$b_4' = \frac{34-3m}{3} = -\frac{6}{3},$$
$$\sum_i b_i' = 0.$$

Заметим, что значения b_i' отличны от b_i, так что

$$SS_{\text{регр}}(m, b_i') = \left(\frac{160}{12}\right)(160) + \left(-\frac{11}{3}\right)(29) + \left(\frac{9}{3}\right)(49) + \left(\frac{8}{3}\right)(48) + \left(-\frac{6}{3}\right)(34) = 2234{,}00,$$

$SS_{\text{исп(скоррект.)}} = SS_{\text{регр}}(m, b, t) - SS_{\text{регр}}(m, b') = 3114{,}83 - 2234{,}00 = 880{,}83$ (как и раньше).

При помощи таких же операций можно получить $SS_{\text{бл(скоррект.)}}$. <…>

Не хотелось бы оставить впечатление, что статистические методики вообще бесполезны в экспериментах в сфере разработки средств защиты информации. Они, безусловно, применимы, но, применяя их, нужно стараться избегать искушения уйти от предметной, вещественной сути эксперимента в область математики как самоцели. В качестве примера, в рамках которого может быть полезным обратиться к закону нормального распределения и правилу трех сигм, можно привести такую ситуацию. Имеем ряд ноутбуков одной модели, в одном из которых работает установленное устройство, а в других – нет. Серия проверок показывает, что то же самое устройство не работает в других ноутбуках этой же модели, а в этом же ноутбуке не работают другие экземпляры устройства, которые, казалось бы, не должны ничем отличаться.

Далее желательно, чтобы учащиеся участвовали в выработке предложений по дальнейшим шагам для прояснения ситуации.

В результате расширения числа проверяемых экземпляров устройств и ноутбуков удается выявить еще несколько пар «экземпляр ноутбука + экземпляр устройства», которые оказываются работоспособны. Составление из этих же устройств других пар дает неработоспособность. И ноутбуки, и исследуемые устройства выполнены в соответствии со стандартами и работают с другими аналогичными продуктами (устройства – с другими ноутбуками, а ноутбуки – с другими устройствами этого форм-фактора).

Каковы дальнейшие действия исследователя? Какую гипотезу можно сформулировать по этим результатам?

Видимо, логичным будет выдвижение гипотезы о том, что наложение отклонений в реализации каких-то стандартизированных параметров дает в одних случаях конфликт и неработоспособность, а в других – работоспособность. Дальше необходимо принять решение о целесообразности проведения серии сложных исследований, которые позволят установить те параметры, отклонения в которых влияют на ситуацию, и то, каким именно образом они сочетаются с тем самым счастливым результатом, ведь, если менять устройства и ноутбуки в рамках этих уже отобранных пар,

работоспособность утрачивается, то есть мы имеем дело с разными комплектами отклонений, в каждом из которых каждое отклонение индивидуально (в рамках проверенной выборки).

Как принять решение о целесообразности проведения этих исследований или об их нецелесообразности? Можно воспользоваться правилом трех сигм, приняв за величину, вероятность выпадения отклонения от средних значений которой анализируется с помощью «горба нормального распределения», сочетание отклонений. У нас есть данные о том, сколько всего пар «ноутбук + устройство» проверено и сколько из них оказались работоспособными. График горба по оси *x* занимает 10 «сигм» (от -5 до +5), из которых по 3,5 в каждую сторону – в пределах горба и по 1,5 – за пределами, сводясь практически к нулю. Значит, сигмой в нашем случае будет 0,1 от общего числа пар «ноутбук + устройство». Определив долю от этого количества работоспособных пар, получаем значение по оси *y* и теперь можем определить, попадает оно в горб или нет, руководствуясь графиком, и далее принимать решение, конечно, руководствуясь не только одной лишь этой оценкой, а некоторой совокупностью доводов, но с учетом и этого тоже. Отношение числового значения доли работоспособных пар к графику делает оценку «очень мало / приемлемо / довольно много» и т. п. более объективной.

Еще раз стоит обратить внимание на то, что до начала планирования эксперимента в смысле математической статистики необходимо создать математическую модель эксперимента.

Надо заметить, что для проведения эксперимента и без применения статистических методов планирования и оценки зачастую требуется построение модели объекта эксперимента, потому что по различным причинам проведение эксперимента непосредственно на самом объекте невозможно. Далеко не всегда это будет математическая модель, разумеется. Модели и эксперименты вообще связаны довольно тесно, и поэтому нужно вкратце остановиться на требующих внимания особенностях моделей и моделирования.

Моделирование часто ведет к возникновению ошибки, когда смешиваются модель и предмет, который моделировался,

в результате чего предмет описывается в понятиях модели. Это неверно, модель – это не сам предмет, и между ними даже нет отношений сущности и явления (или идеи и отражения) – предмет не часть парадигмы модели, и модель не часть парадигмы предмета. Нельзя наделять предмет свойствами модели, как мы это видим в пассаже про радиус эксперимента в отрывке из книги «Логические основы планирования эксперимента», приведенном выше. Но эксперимент – это не круг, у него нет радиуса.

Процесс должен всегда быть обратным – модель создается с характеристиками, присущими предмету моделирования. Придавать модели свойства моделируемого предмета – естественно и целесообразно. Но именно придавать, а не приписывать, потому что общими (а как правило, все-таки даже не общими, а коррелирующими, соответствующими друг другу в той или иной мере) будут в любом случае не все характеристики.

Модель всегда создается для решения какой-то конкретной задачи, а не на все случаи жизни сразу. Правильно, если модель, создаваемая для конкретной задачи, моделирует предмет именно в том смысле, в котором требуется для данной задачи. Для того, чтобы смоделировать маятник, достаточно подвесить колечко на нитку и качнуть, но для того, чтобы выяснить, разрушит ли гиря стену, этого недостаточно. Отсюда еще одно важное следствие – параметрами модели, не связанными с теми характеристиками, которые моделировались, пользоваться в рассуждении нельзя. Даже если это не приведет к заблуждению, это даст аргумент для компрометации методологии.

В то же время наблюдение над такими параметрами может послужить косвенной уликой, от которой можно оттолкнуться при построении гипотезы для проверки. Однако к формулировке и обоснованию такой гипотезы нужно отнестись особенно пристрастно, имея в виду наличие явного методологического нарушения.

И последнее, что стоит оговорить перед тем, как привести несколько текстов о математическом моделировании в целом и в сфере защиты информации в частности, – это как быть с уже

упоминавшейся проблемой моделирования не вполне понятной исследователю системы – когда относительно важности тех или иных параметров или даже относительно их наличия он может попросту заблуждаться.

Это неизбежный риск, его нужно просто понимать и быть готовым планировать и проводить сначала какие-то проверочные эксперименты, причем желательно не только мысленные, позволяющие убедиться в релевантности модели, и лишь затем – целевые проверки. Более точно в рамках краткой инструкции дать рекомендации общего характера, к сожалению, невозможно.

Далее на материале двух статей [Гузаиров, Машкина, Степанова; Ляхов, Пустогаров, Гудилов], которые по опыту преподавателей нашей кафедры наилучшим образом позволяют понять идею применения математического моделирования в области построения систем и защиты информации, рассмотрим, как именно можно строить и для чего потом использовать математические модели.

Материал статей самодостаточен за исключением одного нюанса: в статье М. Б. Гузаирова, И. В. Машкиной и Е. С. Степановой «Построение модели угроз с помощью нечетких когнитивных карт на основе сетевой политики безопасности» [Гузаиров, Машкина, Степанова] даже в названии фигурирует «построение модели угроз», и этот нюанс требует оговаривания. Дело в том, что тут имеет место своего рода омонимия. Легко подумать, что речь идет о документе «Модель угроз», который входит в комплект (а точнее, даже является основообразующим в этом комплекте) организационно-распорядительной документации на информационную систему. Конечно, по содержанию статьи запутаться вряд ли возможно – довольно быстро становится очевидно, что речь идет именно о математической модели. Однако такая омонимия крайне опасна тем, что, будучи затем примененной вне однозначного контекста, породит путаницу. Например, в утверждении о том, что на основании модели угроз нужно определить функциональность разрабатываемого устройства. Устойчивое словосочетание «Модель угроз» воспринимается однозначно – как документ. Документ «Модель

угроз» определяет свойства конкретной системы, и на его основе определять функциональность устройства – по меньшей мере странно. А на основании математической модели, которая может строиться для целого класса систем или вообще носить универсальный характер, – вполне можно.

Казалось бы, автора не должно интересовать, что кто-то потом, неверно использовав его слова, может создать предпосылки для ошибки. Однако воспроизводимость научного результата и его ввод в научный оборот – важнейшая для исследователя задача, и, если его результат вошел в научный оборот не так, как задумано, или повлек ошибки, это как минимум крайне неприятно. Ошибка, конечно, рано или поздно будет исправлена благодаря саморегулируемости научной методологии, но с ней вместе, скорее всего, будет утрачен и положительный результат. Это еще один повод задуматься о важности выбора слов в научном тексте.

Задание на дом: читать параграфы 3-й части книги Ф. А. Кузина «Библиографический поиск литературных источников», «Чтение научной литературы», «Отбор и оценка фактического материала», «Сбор первичной научной информации, ее фиксация и хранение». Подготовить план НИР с указанием того, на что будет направлена его реферативная часть, что исследователи рассчитывают обнаружить в литературе для своей НИР.

Гузаиров М. Б., Машкина И. В., Степанова Е. С. Построение модели угроз с помощью нечетких когнитивных карт на основе сетевой политики безопасности

На сегодняшний день, несмотря на наличие известных зарубежных и отечественных стандартов в области *управления рисками* нарушения информационной безопасности (ИБ), проблема численной оценки риска нарушения ИБ остается актуальной. В стандартах формулируются только критерии оценки безопасности, но не содержится методик оценивания и важных деталей, позволяющих проводить сравнительный анализ различных вариантов защиты информационных систем (ИС).

Известно также достаточно большое число программных продуктов, позволяющих автоматизировать расчет рисков нарушения ИБ. Они обладают определенными достоинствами и недостатками. Так, например, общими недостатками CRAMM, RiskWatch, ГРИФ являются: *ориентация на этап эксплуатации систем защиты информации* (СЗИ); кроме того, в средствах отсутствует возможность учесть данные *об изменении технологии обработки информации* на объекте защиты и сведения о технических *характеристиках* используемых или планируемых средств защиты (СрЗ). Вышеперечисленные продукты не позволяют оценить риски нарушения информационной безопасности при проектировании системы защиты информации, сравнить в количественном отношении различные варианты наборов СрЗ для построения СЗИ.

В рамках данной статьи предлагается *разделение* задачи защиты информационных ресурсов от *случайных и преднамеренных, целенаправленных воздействий*. При расчете рисков нарушения информационной безопасности во

внимание принимаются угрозы несанкционированного доступа (НСД) и целенаправленных утечек, так как для защиты от *случайных воздействий* должны использоваться средства *повышения надежности* технических и программных средств. Таким образом, целесообразно прежде всего решить вопрос разработки метода оценки риска нарушения информационной безопасности от угроз НСД к защищаемой информации и ее утечки.

Исследования проведены с целью построения модели *актуальных* угроз, которые связаны с нарушением информационной политики безопасности (ИПБ) и попытками внешних вторжений злоумышленника для получения несанкционированного доступа к защищаемой информации.

Для построения модели угроз необходимо располагать сведениями о сетевой инфраструктуре, субъектах и объектах информационного взаимодействия, правах доступа, используемых сервисах безопасности, т. е. об информационной системе – объекте защиты.

Сведения об объекте защиты следует представить в модельной форме, дать математическое описание ИС, что позволит наиболее полно ее исследовать.

Существует несколько подходов к математическому описанию сложных систем. Наиболее общим в теории систем является *теоретико-множественный* подход.

Основой построения модели является описание объектов в виде *совокупности элементов*, связанных между собой *отношениями*, отображающими семантику предметной области.

На основе теоретико-множественного подхода рассмотрим построение модели информационной инфраструктуры СЗИ, соответствующей основным принципам построения архитектуры безопасности, рекомендуемым в [1]:

- введение категорий конфиденциальности (критичности, важности) информации и создание соответственно сетевых сегментов, на хостах которых хранится и обрабатывается информация одного и того же уровня конфиденциальности. При этом каждый пользователь внутри своего сетевого сегмента имеет доступ к информации одного уровня конфиденциальности. В этом случае не смешиваются потоки информации разных уровней конфиденциальности;

- выделение в отдельный сегмент всех внутренних серверов компании. Эта мера также позволяет изолировать потоки информации между пользователями, имеющими различные уровни доступа.

Зададим три категории конфиденциальности (критичности, важности) информации: низкая («Н»), средняя («С») и высокая («В»).

Зададим множество сегментов сети C:

$$C = C^H \cup C^C \cup C^B \quad , \tag{1}$$

где C^H, C^C, C^B – подмножества сегментов, в которых хранится и обрабатывается информация соответственно с низким, средним и высоким уровнем конфиденциальности;

$$\begin{aligned} C^H &= \{c_n^H : c_n^H \in C^H\}, n \in [1, N], \\ C^C &= \{c_m^C : c_m^C \in C^C\}, m \in [1, M], \\ C^B &= \{c_l^B : c_l^B \in C^B\}, l \in [1, L], \end{aligned} \tag{2}$$

где *N, M, L* – число сегментов, в которых хранится и обрабатывается информация соответственно категории «Н», «С», «В».

Множество информационных объектов *O* в сети представляет собой *объединение* множеств:

$$O = O^H \cup O^C \cup O^B, \tag{3}$$

где O^H, O^C, O^B – подмножества информационных объектов категории «Н», «С», «В» соответственно.

В свою очередь, множества O^H, O^C, O^B состоят из подмножеств информационных объектов, обрабатываемых в сегментах сети, и могут быть представлены в виде:

$$O^{\mathrm{H}} = \bigcup_{n \in N} o_n^{\mathrm{H}},$$
$$O^{\mathrm{C}} = \bigcup_{m \in M} o_m^{\mathrm{C}}, \quad (4)$$
$$O^{\mathrm{B}} = \bigcup_{l \in L} o_l^{\mathrm{B}}.$$

В [2] приведена модель информационной системы, в которой все пользователи, имеющие уровень доступа «С», обладают одинаковыми правами доступа к информации уровня конфиденциальности «С», обрабатываемой соответственно во всем множестве сегментов C^C; все пользователи, имеющие уровень доступа «В», обладают одинаковыми правами доступа к информации уровня конфиденциальности «В», обрабатываемой во всем множестве сегментов C^B.

В данной работе учитывается тот факт, что хотя уровень конфиденциальности информации, обрабатываемой в разных подразделениях компании, может быть один и тот же, однако, в соответствии с бизнес-процессами, доступ к информационным ресурсам пользователям, имеющим достаточный уровень доступа, но относящимся к другим подразделениям, не может быть предоставлен.

Поэтому в данной модели принято:

$$\bigcap_{m \in M} o_m^{\mathrm{C}} = \{\quad\},$$
$$\bigcap_{l \in L} o_l^{\mathrm{B}} = \{\quad\}, \quad (5)$$

что делает потенциально возможными угрозы из сегментов подмножеств C^C и C^B к информационным объектам O^C, O^B,

обрабатываемым в других сегментах соответствующих подмножеств C^C и C^B.

Зададим *отображение* множества информационных объектов во множество сегментов соответствующей категории конфиденциальности:

$$O_n^H \to C_n^H, n \in N,$$
$$O_m^C \to C_m^C, m \in M, \quad (6)$$
$$O_l^B \to C_l^B, l \in L.$$

Обозначим множество субъектов доступа через S. По расположению субъекта доступа относительно информационного объекта пользователи подразделяются на внешние и внутренние:

$$S = S^{\text{ВН}} \cup S^{\text{ВНШ}}, \quad (7)$$

где $S^{\text{ВН}}$ – внутренние субъекты доступа; $S^{\text{ВНШ}}$ – внешние субъекты доступа.

Множество субъектов доступа, внешних или внутренних, можно рассматривать как множество источников угроз, под которыми понимается атакующая программа или оператор, непосредственно осуществляющий воздействия на сеть.

Внутренние угрозы связаны с нарушением принятой политики безопасности: попытками доступа пользователя к информационным ресурсам, уровень конфиденциальности которых превышает его уровень доступа (попытки сетевых соединений, запуска приложений и другое), нелегальным поведением пользователя на компьютере или сервере.

Множество внутренних субъектов доступа есть объединение подмножеств

$$S^{\text{ВН}} = \text{S}^{\text{H}} \cup \text{S}^{\text{C}} \cup \text{S}^{\text{B}}, \quad (8)$$

где $\text{S}^{\text{H}}, \text{S}^{\text{C}}, \text{S}^{\text{B}}$ – подмножества пользователей или процессов с уровнем доступа «Н», «С», «В» соответственно.

Множества $S^{\text{Н}}, S^{\text{С}}, S^{\text{В}}$ *могут быть представлены как:*

$$S^{\text{Н}} = \bigcup_{n \in N} S_n^{\text{н}},$$
$$S^{\text{С}} = \bigcup_{m \in M} S_m^{\text{С}}, \quad (9)$$
$$S^{\text{В}} = \bigcup_{l \in L} S_l^{\text{В}}.$$

Зададим отображения множеств субъектов доступа в подмножества сегментов сети:

$$S_n^H \to C_n^H, n \in N,$$
$$S_m^C \to C_m^C, m \in M, \quad (10)$$
$$S_l^B \to C_l^B, l \in L.$$

Множество внешних субъектов доступа есть объединение множеств

$$S^{\text{ВНШ}} = S_t^{\text{ПВНШ}} \cup S_t^{\text{ВНШ}}, t \in [1, T], \quad (11)$$

где $S_t^{\text{ПВНШ}}$ – внешние пользователи, обладающие правом доступа; $S_t^{\text{ВНШ}}$ – несанкционированный субъект доступа; T – *число точек доступа через периметр.*

В [2] предложено для описания угрозы как канала несанкционированного доступа, утечки, деструктивных воздействий указать субъект доступа, информационный объект, к которому осуществляется доступ с нарушением прав и правил, путь распространения угрозы до сегмента, информационный носитель. Таким образом, угроза может быть описана кортежем

$$U = \langle S, A, З_с, З_x, П, О(С) \rangle, \quad (12)$$

где S – источник угрозы – субъект доступа (пользователь, внешний злоумышленник или запущенные ими процессы);

A – оборудование в канале связи (коммутаторы, маршрутизаторы и др.);

$З_с, З_x$ – сервисы безопасности на пути распространения угрозы, соответственно сетевые и хостовые (МСЭ, СОА,

журналы регистрации аномальных сетевых соединений, журналы регистрации операционных систем и др.);

П – протоколы;

0 – объект доступа в соответствующем сегменте.

Множество угроз включает в себя подмножества:

$$U = U^{\text{ВНШ}} \cup U^{\text{ВН}} \cup U^{\text{ВН\_С}}, \quad (13)$$

где $U^{\text{ВНШ}}$ – подмножество внешних угроз через проводные, беспроводные и модемные линии связи;

$U^{\text{ВН}}$ – подмножество внутренних межсегментных угроз;

$U^{\text{ВН\_С}}$ – подмножество внутренних угроз, источники которых расположены в том же локальном сегменте, что и объект доступа.

С учетом принципа [1] построения архитектуры безопасности объекта защиты $U^{\text{ВН\_С}} = \{\}$. Таким образом, в работе рассматриваются внешние угрозы и внутренние межсегментные.

Внешние угрозы – это потенциально возможные действия, заключающиеся в поиске и использовании той или иной уязвимости, предпринимаемые:

1. злоумышленником с целью проникновения с удаленного компьютера внутрь защищаемой системы, получения, без права на то, удаленного доступа к ресурсам ИС и хищения данных или вызова отклонения от нормального протекания информационных процессов;

2. удаленным пользователем, имеющим определенные права, пытающимся превысить уровень своих полномочий.

Внешняя угроза связана с внешним субъектом доступа и описывается кортежем

$$U^{\text{ВНШ}} = \langle S^{\text{ВНШ}}, A, З_с, З_x, П, О(С) \rangle. \quad (14)$$

Внутренний нарушитель – сотрудник, прошедший все рубежи авторизации, обладающий определенными полномочиями и имеющий доступ к корпоративной

информации, представляет не меньшую опасность, чем злоумышленник и внешний пользователь.

Согласно ГОСТ [3], несанкционированный доступ – процесс ознакомления внутренних пользователей, имеющих уровень доступа «Н», к информации с уровнем конфиденциальности «С», «В»; попытка ознакомления пользователей, имеющих уровень доступа «С», с информацией с уровнем конфиденциальности «В», а также попытка ознакомления с информацией того же уровня конфиденциальности, но обрабатываемой в других подразделениях организации. Утечка – неконтролируемое распространение защищаемой информации, инициируемое субъектами – пользователями с достаточно высокими правами доступа.

Подмножество внутренних угроз включает в себя подмножества угроз несанкционированного доступа $U^{\text{ВН}}_{m(n)}, U^{\text{ВН}}_{l(n)}, U^{\text{ВН}}_{m(\mu)}, U^{\text{ВН}}_{l(\lambda)}$:

$$U^{\text{ВН}}_{m(n)} = \langle S^H_n, A, З_с, З_x, П, О^C_m(C^C_m)\rangle, \quad (15)$$

$$U^{\text{ВН}}_{l(n)} = \langle S^H_n, A, З_с, З_x, П, О^B_l(C^B_l)\rangle, \quad (16)$$

где $U^{\text{ВН}}_{m(n)}, U^{\text{ВН}}_{l(n)}$ – угрозы НСД к информационным объектам категории «С» и «В» соответственно в случае, когда нарушитель имеет учетную запись в системе как пользователь с правами доступа к информации с уровнем конфиденциальности «Н» и пытается превысить свои привилегии;

$$U^{\text{ВН}}_{l(m)} = \langle S^C_m, A, З_с, З_x, П, О^B_l(C^B_l)\rangle, \quad (17)$$

где $U^{\text{ВН}}_{l(m)}$ – угроза несанкционированного доступа к информационным объектам категории «В» в случае, когда нарушитель имеет учетную запись пользователя с правами доступа к информации с уровнем конфиденциальности «С» и пытается превысить свои привилегии;

$$U^{\text{ВН}}_{m(\mu)} = \langle S^H_\mu, A, З_с, З_x, П, О^C_m(C^C_m)\rangle, \mu \in [1, M], m \in [1, \mu) \cup (\mu, M], \quad (18)$$

$$U^{\text{ВН}}_{m(\lambda)} = \langle S^H_\lambda, A, З_с, З_x, П, О^B_l(C^B_l)\rangle, \lambda \in [1, L], l \in [1, \lambda) \cup (\lambda, L], \quad (19)$$

где $U^{\text{ВН}}_{m(\mu)}, U^{\text{ВН}}_{m(\lambda)}$ – угрозы информационным объектам, обрабатываемым в сегментах C^C_m, C^B_l, реализуемые нарушителями, имеющими учетные записи в системе как пользователи с правами доступа «С», «В», но относящимися к разным сегментам соответствующих подмножеств сегментов C^C, C^B. Таким образом, субъект доступа в сегменте C^C_μ потенциально рассматривается как источник угрозы объектам, обрабатываемым в других сегментах из множества C^C. Субъект доступа в сегменте C^C_λ рассматривается как источник угрозы объектам, обрабатываемым в других сегментах из множества C^B.

Кроме того, подмножество внутренних угроз включает подмножества $U^{\text{ВН}}_{m(m)}$ и $U^{\text{ВН}}_{l(l)}$:

$$U^{\text{ВН}}_{m(m)} = \langle S^C_m(\text{О}^C_m), A, \text{З}_\text{с}, \text{З}_x, \text{П}, \text{О}^H_n \rangle, \quad (20)$$

$$U^{\text{ВН}}_{l(l)} = \langle S^B_l(\text{О}^B_l), A, \text{З}_\text{с}, \text{З}_x, \text{П}, \text{О}^C_m \cup \text{О}^H_n \rangle, \quad (21)$$

где $U^{\text{ВН}}_{m(m)}$ и $U^{\text{ВН}}_{l(l)}$ – угрозы неконтролируемого распространения (утечки) информационных объектов категорий «С» и «В», реализуемые пользователями соответствующих сегментов.

Основой для организации процесса защиты информации является информационная политика безопасности, которая задает правила взаимодействия информационных субъектов (пользователей, процессов) с информационными объектами.

Разграничение прав доступа на уровне сети определяется в соответствии с принятой информационной политикой безопасности.

Модель управления доступом является формальным выражением разграничительной политики и определяет правила ее задания для доступа к защищаемым ресурсам, а также правила обработки запросов доступа к защищаемым ресурсам [4]. Авторизованными считаются операции с правами доступа, определенными в матрице доступа.

Модель доступа, как дискреционную, так и мандатную, можно представить в виде матрицы, где линейно упорядоченные множества объектов доступа O и S субъектов доступа характеризуют строки и столбцы соответственно. Множества упорядочены таким образом, что по мере возрастания порядкового номера субъекта или объекта права субъекта сокращаются или значение конфиденциальности объекта понижается.

Важно отметить, что для полного отображения всех условий модели необходимо сгруппировать объекты доступа по двум критериям: по уровню критичности (конфиденциальности) и по принадлежности групп объектов к тем или иным подразделениям компании, организации и т. д., реализующим специфичные для них бизнес-процессы.

Для наглядности процессов реализации несанкциони-рованного доступа и утечки конфиденциальной информации предлагается построение *матриц угроз*, получаемых на основе матриц доступа на уровне сети. В качестве субъектов доступа в матрицах угроз выступают как внутренние несанкциони-рованные процессы и пользователи-нарушители, так и внешние – удаленные пользователи и злоумышленник.

На основе вышеизложенного теоретико-множественного подхода к описанию ИС и построения матриц угроз может быть построена модель угроз в проекции на топологию сети, отражающая процесс реализации угроз на пути их распространения с указанием источника и объекта атаки.

В работе предложено для построения модели угроз и далее для анализа рисков нарушения информационной безопасности использовать нечеткие когнитивные карты (НКК). НКК, построенная в проекции на топологию сети, позволяет *визуализировать пути* распространения возможных

угроз от их потенциальных источников – заинтересованных субъектов к критичным информационным ресурсам в сети, представленные кортежами (15)–(21).

Нечеткие когнитивные карты задаются в виде ориентированного графа и представляют моделируемую систему в виде множества концептов $\{K_1, K_2..K_q\}$, существенных для понимания исследуемой проблемы и связанных между собой отношениями влияния, отражающими причинно-следственные связи и показывающими степень влияния одного концепта на другой $\omega_{ij} \in W$ [5].

Определим путь между входным концептом K_i – источником угрозы и выходным концептом K_y – объектом атаки (информационным ресурсом) нечеткой когнитивной карты следующим образом: $K_i \rightarrow K_y, \left(K_i, K_{z_1}, K_{z_2}, K_{z_3} \ldots K_{z_v}, K_y\right)_j$,

где j ∈ [1, J] – номер пути между концептами K_i и K_y,

K_{z_v} – промежуточные концепты,

$v \in [1, V]$ – количество промежуточных концептов.

На рис. 1 приведен случай, когда между концептами K_i и K_y могут быть построены J различных путей.

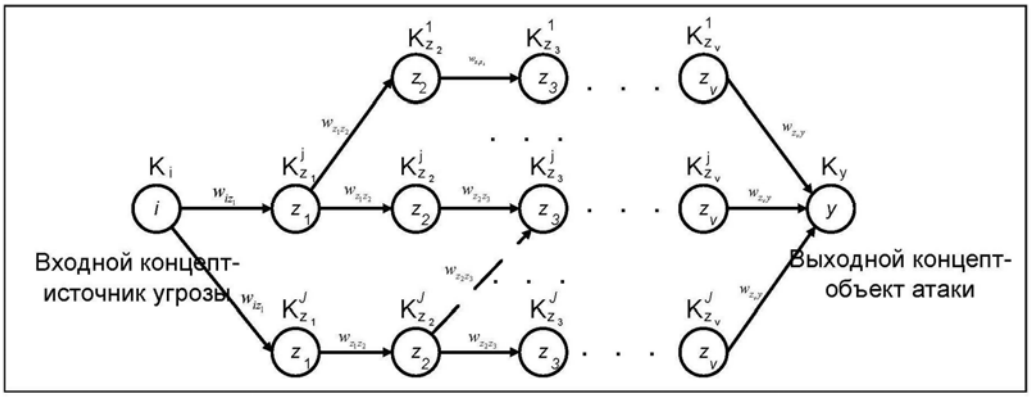


Рис. 1. Множество путей между концептами K_i и K_y

Отдельные нечеткие влияния входных концептов, воздействующих на выходной концепт, объединяются на основе S-нормы [6]:

$$\omega_{iy} = \underset{j=1}{\overset{J}{S}} \quad \underset{z \in Z}{T} \quad \omega_{z,z+1}, \tag{22}$$

где ω_{iy} – вес влияния концепта i на концепт y.

Наиболее распространенными разновидностями Т-нормы являются операции минимума и алгебраического произведения, а наиболее распространенной разновидностью S-нормы – операция максимума.

В решаемой задаче веса $\omega_{z,z+1}$ соответствуют значениям уязвимостей компонентов инфраструктуры – программного обеспечения, коммуникационного оборудования, протоколов связи и сервисов безопасности, представленных в НКК промежуточными концептами $К^{j}_{z+1}$; $\rho_{акт}$ – вероятность активизации входного концепта; $\rho_{оои}$ – характеристика, учитывающая особенности обработки информации на объекте защиты. Тогда вероятность реализации угрозы на j-м пути может быть вычислена по формуле:

$$\rho_{j} = \rho_{акт} \cdot \rho_{оои} \cdot \underset{z \in Z}{T} \quad w_{z,z+1} \tag{23}$$

Максимальное значение ρ_{j} между концептами K_i и K_y будет соответствовать вероятности реализации угрозы $\rho^{U}\left(K_i \rightarrow K_y\right)^{j}$ на информационный ресурс, представленный концептом K_y, источником атаки:

$$P^{U}\left(K_i \rightarrow K_y\right) = \max_{j=1}^{J} P_j. \tag{24}$$

На рис. 2 приведена нечеткая когнитивная карта, показывающая различные пути распространения угроз от источников угроз – входных концептов $K_i^{S_1^{ВНШ}}$, $K_i^{S_2^{ВНШ}}$ и $K_i^{S_1^{С1В}}$ к подмножеству информационных ресурсов, расположенных в сегменте C_1^B, представленных выходным концептом $K_y^{O_l^B}$.

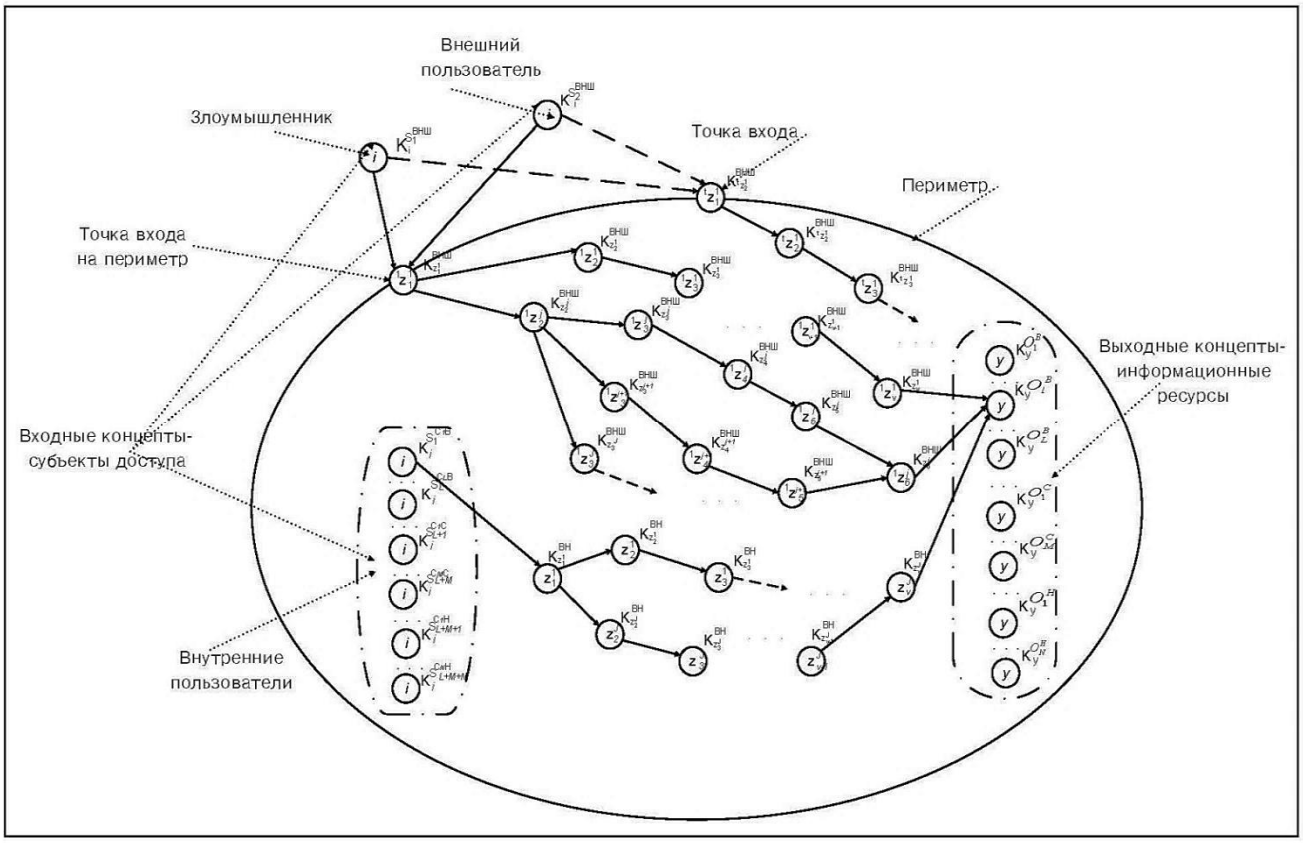


Рис. 2. Нечеткая когнитивная карта – модель угроз

Вероятности реализации угроз на информационные ресурсы с уровнями конфиденциальности «Н», «С», «В» могут быть определены по формулам:

$$\rho_{C_n H^U} = 1 - \left(1 - \rho^{U^{\text{ВНШ}}}\right) \cdot \left(1 - \rho^{U^{\text{ПВНШ}}}\right), \quad (25)$$

$$\rho_{C_m C^U} = 1 - \left(1 - \rho^{U^{\text{ВНШ}}}\right) \cdot \left(1 - \rho^{U^{\text{ПВНШ}}}\right) \cdot \left(1 - \rho^{U_{m(n)}{}^{\text{ВН}}}\right) \cdot \left(1 - \rho^{U_{m(\mu)}{}^{\text{ВН}}}\right) \cdot \left(1 - \rho^{U_{m(m)}{}^{\text{ВН}}}\right), \quad (26)$$

$$\rho_{C_l B^U} = 1 - \left(1 - \rho^{U^{\text{ВНШ}}}\right) \cdot \left(1 - \rho^{U^{\text{ПВНШ}}}\right) \cdot \left(1 - \rho^{U_{l(n)}{}^{\text{ВН}}}\right) \cdot \left(1 - \rho^{U_{l(m)}{}^{\text{ВН}}}\right) \cdot \left(1 - \rho^{U_{l(\lambda)}{}^{\text{ВН}}}\right) \cdot \left(1 - \rho^{U_{l(l)}{}^{\text{ВН}}}\right), \quad (27)$$

Вероятности $\rho^{U^{\text{ВНШ}}}, \rho^{U^{\text{ПВНШ}}}, \rho^{U_{m(n)}{}^{\text{ВН}}}, \rho^{U_{l(n)}{}^{\text{ВН}}}, \rho^{U_{l(m)}{}^{\text{ВН}}}, \rho^{U_{m(\mu)}{}^{\text{ВН}}}, \rho^{U_{l(\lambda)}{}^{\text{ВН}}}, \rho^{U_{m(m)}{}^{\text{ВН}}}, \rho^{U_{l(l)}{}^{\text{ВН}}}$ определяются по формуле (23) для соответствующих путей распространения угроз.

Величины относительного риска могут быть определены по формулам:

$$\overline{R_{C^{\text{H}}}} = \sum_{n=1}^{N} P_{C_n^{\text{H}}}^{U} \cdot \frac{Cm_{C_n^H}}{Cm_\Sigma}, \quad (28)$$

$$\overline{R_{C^C}} = \sum_{m=1}^{M} P_{C_m^C}^{U} \cdot \frac{Cm_{C_m^C}}{Cm_\Sigma}, \quad (29)$$

$$\overline{R_{C^{\text{B}}}} = \sum_{l=1}^{L} P_{C_l^{\text{B}}}^{U} \cdot \frac{Cm_{C_l^{\text{B}}}}{Cm_\Sigma}, \quad (30)$$

где $\frac{Cm_{C_n^H}}{Cm_\Sigma}, \frac{Cm_{C_m^C}}{Cm_\Sigma}, \frac{Cm_{C_l^B}}{Cm_\Sigma}$ – относительные стоимости информационных ресурсов, обрабатываемых в сегменте C_n^H, C_m^C и C_l^B соответственно.

Величина полного относительного риска может быть определена по формуле:

$$\bar{R} = \overline{R_{C^H}} + \overline{R_{C^C}} + \overline{R_{C^B}}\ . \quad (31)$$

Хотя в работе [7] доказывается, что вопрос определения безопасности компьютерной системы в общем случае неразрешим, т. е. не существует алгоритма, позволяющего определить, будет ли компьютерная система обеспечивать безопасность информации *в общем случае,* в настоящей работе предлагается метод расчета рисков для ИС, топология сети которой построена в соответствии с ГОСТ [1] и является *обобщенной*.

II.

Метод численной оценки риска и программно реализованный алгоритм решения задачи были апробированы для информационной системы, инфраструктура которой построена с учетом рекомендаций ГОСТ [1] и работы [8] к базовой структуре сети.

На рис. 3 приведена топология сети объекта защиты.

С учетом существующих на объекте защиты бизнес-процессов и категорирования информации, обрабатываемой

в определенных сегментах, сформируем матрицу прав доступа внутренних и удаленных пользователей к информационным ресурсам, приведенную в таблице 1.

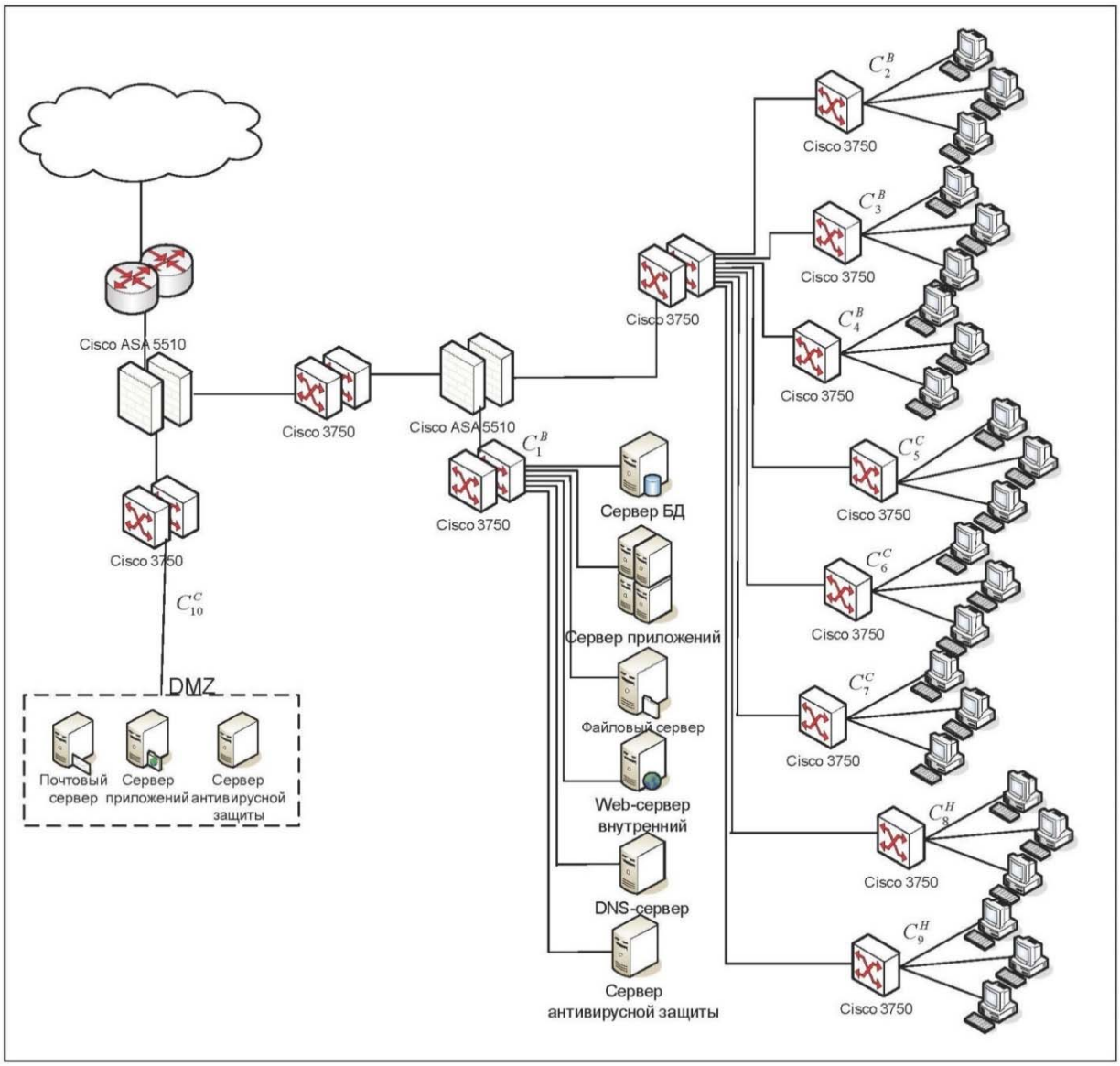


Рис. 3. Топология сети объекта защиты

Таблица 1. Матрица разграничения прав доступа

	$S_1(C_2^B)$	$S_2(C_3^B)$	$S_3(C_4^B)$	$S_4(C_5^C)$	$S_5(C_6^C)$	$S_6(C_7^C)$	$S_7(C_8^H)$	$S_8(C_9^H)$	$S_t^{\text{ПВНШ}}$
O_1^B	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	—
O_2^B	rw	—	—	w	—	—	—	—	—
O_3^B	—	rw	—	—	w	—	w	—	—
O_4^B	—	—	rw	—	—	w	—	w	—
O_5^C	r	—	—	rw	—	—	—	—	—

O_6^C	–	r	–	–	rw	–	w	–	–
O_7^C	–	–	r	–	–	rw	–	w	–
O_{10}^C	rw	rw	rw	rw	rw	rw	–	–	rw
O_8^H	–	r	–	–	r	–	rw	–	–
O_9^H	–	–	r	–	–	r	–	rw	–

Матрицы НСД и утечки строятся на основе матрицы разграничения прав доступа.

В таблицах 2, 3 приведены матрицы, отражающие возможные процессы несанкционированного доступа и утечки информации соответственно.

Таблица 2. Матрица НСД к информационным объектам

	$S_1(C_2^B)$	$S_2(C_3^B)$	$S_3(C_4^B)$	$S_4(C_5^C)$	$S_5(C_6^C)$	$S_6(C_7^C)$	$S_7(C_8^H)$	$S_8(C_9^H)$	$S_t^{\text{ПВНШ}}$	$S_t^{\text{ВНШ}}$
O_1^B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
O_2^B	–	1	1	1	1	1	1	1	1	1
O_3^B	1	–	1	1	1	1	1	1	1	1
O_4^B	1	1	–	1	1	1	1	1	1	1
O_5^C	–	–	–	–	1	1	1	1	1	1
O_6^C	–	–	–	1	–	1	1	1	1	1
O_7^C	–	–	–	1	1	–	1	1	1	1
O_{10}^C	–	–	–	1	1	1	1	1	–	1
O_8^H	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1
O_9^H	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1

Формат матрицы утечки предлагается следующим: столбцы характеризуют линейно упорядоченные множества пользователей-нарушителей S, а строки – информационные объекты, созданные пользователем. Для осуществления угрозы утечки, т. е. распространения защищаемой информации через периметр сети к злоумышленнику пользователем с высоким уровнем доступа, необходимо предварительно понизить уровень конфиденциальности интересующего его информационного объекта.

Таблица 3. Матрица утечек

	$S_1(C_2^B)$	$S_2(C_3^B)$	$S_3(C_4^B)$	$S_4(C_5^C)$	$S_5(C_6^C)$	$S_6(C_7^C)$	$S_7(C_8^H)$	$S_8(C_9^H)$
O_1^B	–	–	–	–	–	–	–	–
O_2^B	–	–	–	–	–	–	–	–
O_3^B	–	–	–	–	–	–	–	–

O_4^B	–	–	–	–	–	–	–	–
O_5^C	1	1	1	–	–	–	–	–
O_6^C	1	1	1	–	–	–	–	–
O_7^C	1	1	1	–	–	–	–	–
O_{10}^C	1	1	1	–	–	–	–	–
O_8^H	1	1	1	1	1	1	–	–
O_9^H	1	1	1	1	1	1	–	–

Матрицы угроз являются исходными данными для построения НКК, задавая входные и выходные концепты карты.

Нечеткая когнитивная карта *отражает* процесс реализации угроз *через используемые уязвимости* программного обеспечения, коммуникационного оборудования, протоколов связи и сервисов безопасности.

НКК, представляющая схему НСД удаленного пользователя – нарушителя и злоумышленника на информационные ресурсы, в проекции на топологию сети приведена на рис. 4.

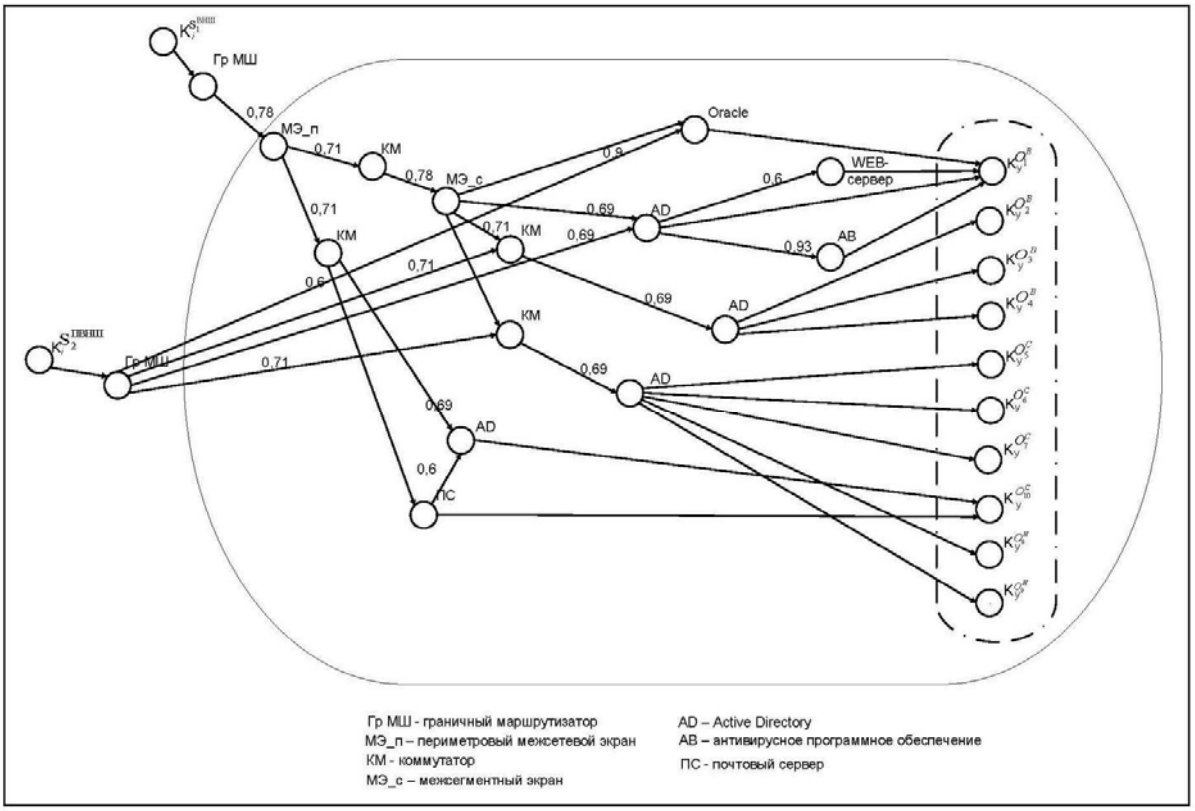


Рис. 4. Нечеткая когнитивная карта – модель угроз НСД, реализуемых удаленным пользователем и злоумышленником, через периметр

На рис. 5 приведена НКК – модель угроз, источниками которых выступают внутренние пользователи-нарушители.

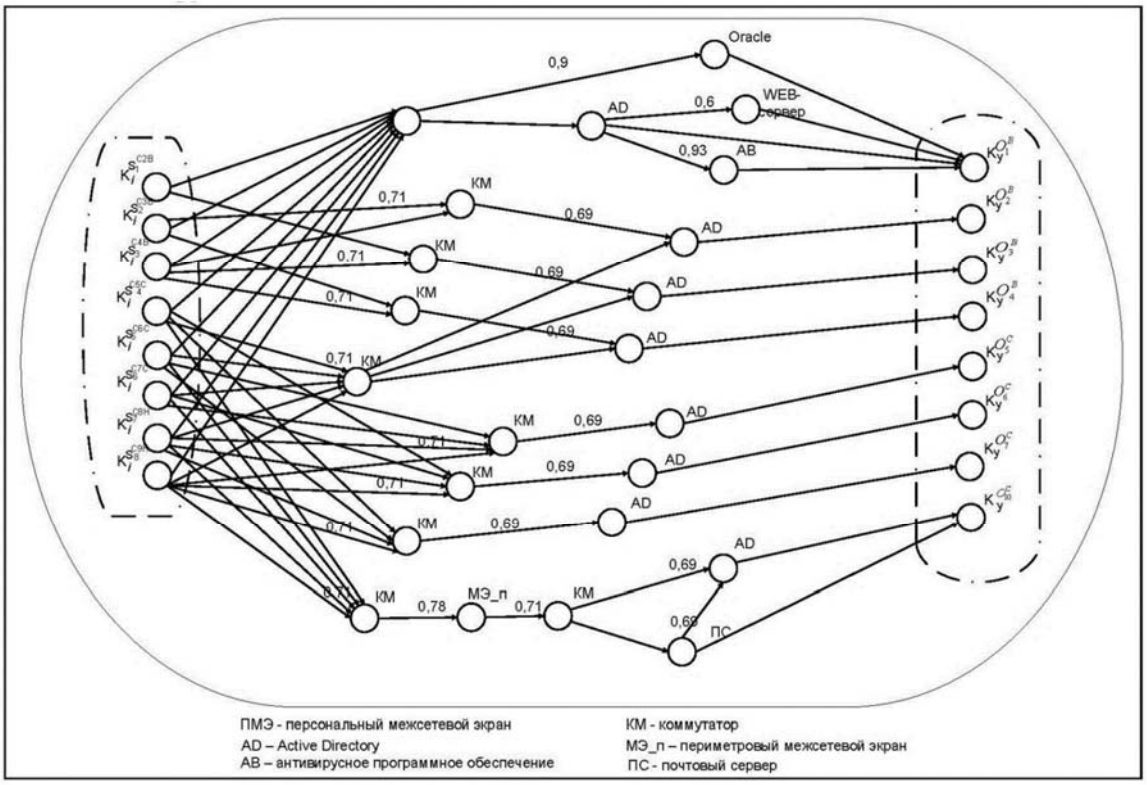


Рис. 5. Нечеткая когнитивная карта – модель угроз, реализуемых внутренними пользователями

Нечеткая когнитивная карта, отображающая процесс реализации угрозы утечки конфиденциальной информации, передаваемой через периметр пользователем-нарушителем с высоким уровнем доступа несанкционированному получателю, приведена на рис. 6.

Значения весов влияния в НКК получены на основе нормализации оценок уязвимостей, приведенных в [9].

Значение риска информационной безопасности рассчитывалось для случая, когда все источники угроз активизируются одновременно с равной вероятностью.

Характеристика $\rho_{\text{оои}}$, учитывающая особенности обработки информации на объекте защиты, – вероятность наличия защищаемой информации в трафике, в рамках данной статьи

принимается как частота использования канала связи для передачи конфиденциальной информации.

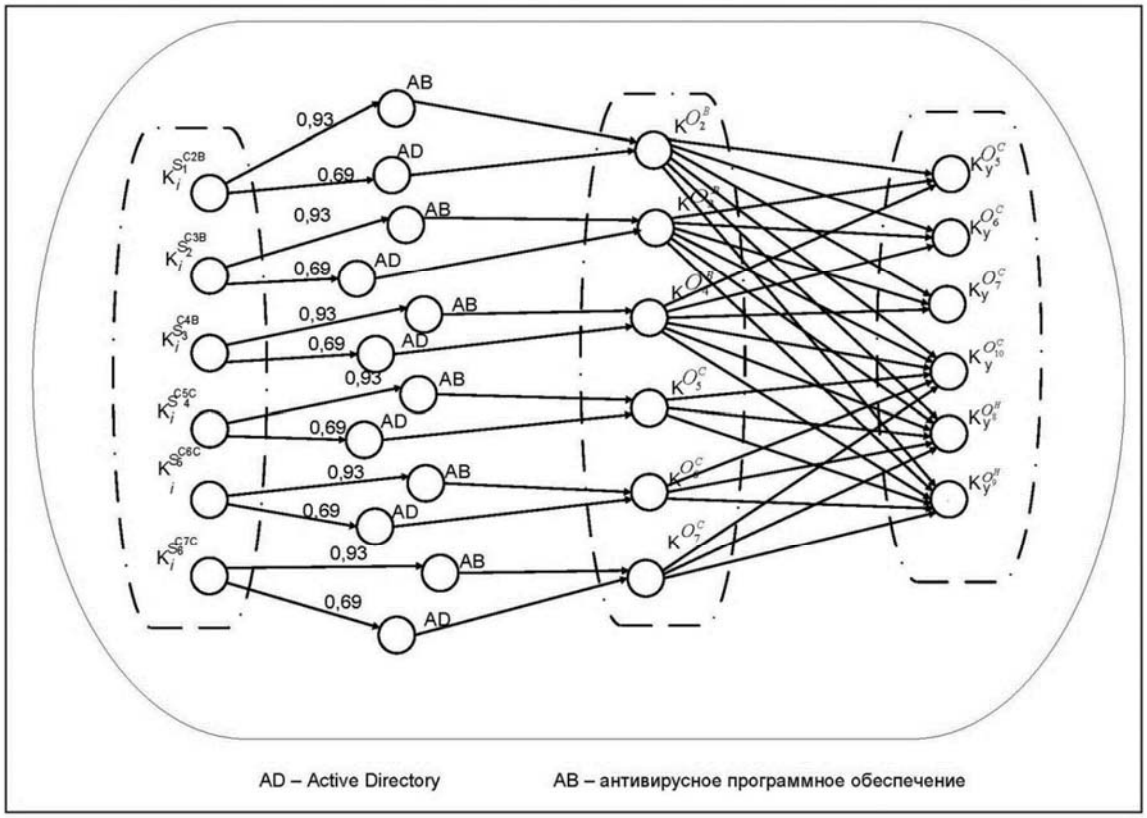


Рис. 6. Нечеткая когнитивная карта – модель угроз утечки конфиденциальной информации

В расчетах принято, что при передаче информации через периметр $\rho_{\text{ооИ}} = \frac{1}{24}$, через границы сегмента $\rho_{\text{ооИ}} = \frac{1}{8}$.

В расчетах приняты значения относительных стоимостей информационных ресурсов, обрабатываемых в сегментах сети компании, приведенные в таблице 4.

Таблица 4. Значения относительных стоимостей информационных ресурсов

Наименование сегмента	Значения относительных стоимостей
Сегменты 8, 9 с категорией конфиденциальности «Н»	0,025
Сегменты 5, 6, 7 с категорией конфиденциальности «С»	0,04
Сегмент 10 внешней экранированной подсети «С»	0,07
Сегменты 2, 3, 4 с категорией конфиденциальности «В»	0,07
Серверный сегмент 1 с уровнем конфиденциальности «В»	0,55

Расчетное значение полного относительного риска $\bar{R}$ в соответствии с формулами (28)–(31) составило 0,120345.

При установке дополнительных СрЗ на путях реализации угроз: персональных межсетевых экранов перед рабочими станциями с уровнями доступа «С» и «В» и серверами, систем предотвращения вторжений Cisco IPS 4270 и программного продукта, предназначенного для защиты данных от утечек, InfoWatch Data Control – значение полного относительного риска уменьшилось более чем в 3 раза и составило $\bar{R} = 0{,}038151$.

Вычислительный эксперимент показывает адекватность предложенного метода моделирования угроз для оценки уровня риска информационной безопасности информационных систем с различными наборами средств защиты.

Метод применим на стадии проектирования СЗИ для сравнения различных наборов средств защиты.

Работа выполнена при поддержке гранта НШ-65497.2010.9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17799 - 2005. URL: http://sec7x24.net/std/17799-2005.html.
2. *Машкина И.* В. Идентификация угроз на основе построения семантической модели информационной системы // Вестник УГАТУ. Серия «Управление, вычислительная техника и информатика». 2008. Т. 11. № 1 (28). С. 208–214.
3. ГОСТ Р 50.1.053.2005 «Информационные технологии. Основные термины и определения». URL: http://www.gosthelp.ru/text/ R5010532005Informacionnye.html.
4. *Бабенко Л. К., Басан А. С., Журкин И. Г., Макаревич О. Б.* Защита данных геоинформационных систем: учеб. пособие для студентов вузов / Под ред. И. Г. Журкина. М.: Гелиос АРВ, 2010. – 336 с.
5. *Васильев В. И.* Интеллектуальные системы защиты информации: учеб. пособие. М.: Машиностроение, 2010. – 152 с.
6. *Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С.* Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 283 с.; ил.
7. *Корт С. С.* Теоретические основы защиты информации: Учебное пособие. М.: Гелиос АРВ, 2004. – 240 с.
8. *Брег Р., Родс-Оусли М., Страссберг К.* Безопасность сетей. Полное руководство. Пер. с англ. М.: Эком, 2006. – 912 с.
9. National Vulnerability Database (NVD) Search Common Platform Enumeration. URL: http://web.nvd.nist.gov/view/cpe/search.

Ляхов А. И., Пустогаров И. А., Гудилов А. С. Проблема неравномерного распределения пропускной способности канала в сетях IEEE 802.11[8]

1. ВВЕДЕНИЕ

Благодаря низким ценам на оборудование, а также легкости в установке, беспроводные сетевые технологии получили широкое распространение. На сегодняшний день технология Wi-Fi, в основе которой лежит стандарт IEEE 802.11, является наиболее популярной и бурноразвивающейся технологией беспроводных сетей передачи данных. В данной работе рассматриваются два направления развития стандарта IEEE 802.11, а именно: поддержка организации прямых соединений (DLS, Direct Link Setup) и mesh-сети.

Изначально стандарт IEEE 802.11 определял два режима работы: одношаговый ad hoc режим, в котором все станции находятся в зоне радиоприема друг друга и могут устанавливать исключительно прямые соединения, а также режим типа hot spot, в котором все станции могут напрямую посылать пакеты только точке доступа. В последней версии стандарта IEEE 802.11 [1] в режиме hot spot станции могут обмениваться кадрами и непосредственно, при условии, что они организуют прямые соединения с использованием механизма DLS. Прямые соединения уменьшают нагрузку на точку доступа и повышают производительность сети.

Комитет по стандартизации IEEE 802 LAN/MAN недавно начал свою работу по утверждению дополнения к стандарту IEEE 802.11s [2], описывающего технологию mesh-сетей, которая является на сегодня одной из наиболее многообещающих и приковывает к себе внимание все

[8] Исследование проведено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 08-07-90102-Мол_а).

большего круга исследователей (см., например, [3, 4]).

Mesh-сеть – это многошаговая сеть, устройства которой (mesh-станции, MP, Mesh Points) обладают функциями маршрутизатора и способны использовать различные пути для пересылки пакета. Mesh-технология становится особенно необходимой при отсутствии проводной инфраструктуры для соединения станций. В этом случае пакеты пересылаются от одной mesh-станции до другой до достижения шлюза с проводной сетью. Для большей надежности mesh-станция может иметь более одной соседней mesh-станции. Идея mesh-сетей берет свое начало из мобильных ad hoc сетей (MANET), в которых функция маршрутизации была реализована на уровне IP. Протокол MANET обладал ограниченной производительностью, поскольку IP-уровню недоступна информация об условиях беспроводной передачи и соседних узлах. В частности, IP-уровню недоступна информация о вероятности искажения пакетов помехами и коллизиями, а также о схеме модуляции и кодирования, используемой в каждом из соединений. Напротив, в mesh-сетях IEEE 802.11s механизмы маршрутизации работают на MAC-уровне, где эта информация доступна, что делает маршрутизацию намного более эффективной.

Как сети типа hot spot, использующие механизм DLS, так и mesh-сети основаны на организации прямых соединений, проводимой без централизованного управления. Если отправитель или получатель, участвующие в одном соединении, скрыты от одной из станций, образующих другое соединение, интерференция значительно снижает пропускную способность одного или обоих соединений.

Для решения проблемы скрытых станций стандарт IEEE 802.11 [1] рекомендует использовать метод доступа RTS/CTS: см. рис. 1. Перед тем, как передать кадр данных, устройство

резервирует канал путем передачи специального короткого кадра RTS (Request to Send – запрос на передачу). Станция-приемник посылает в ответ кадр CTS (Clear to Send – разрешение на передачу), после чего передаются кадры данных (DATA) и подтверждения (ACK). Кадры этой последовательности разделены короткими промежутками SIFS (Short Inter Frame Space).

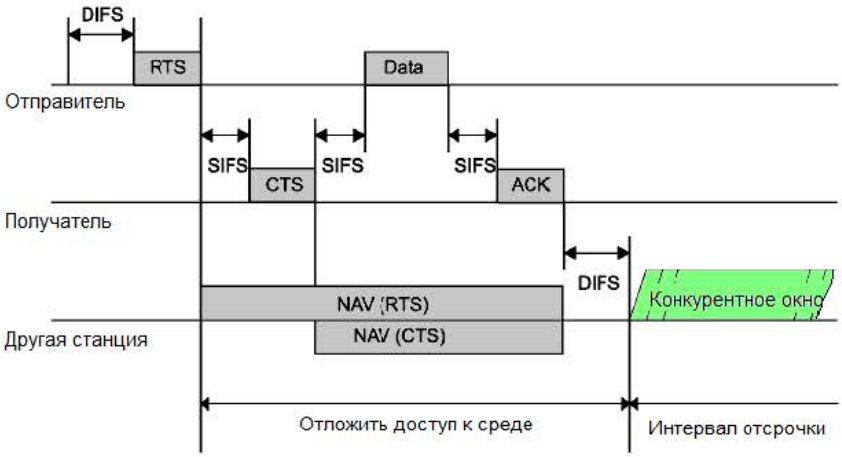


Рис. 1. Механизм RTS/CTS

В кадрах RTS и CTS содержится поле длительности, определяющее время, необходимое для передачи кадра данных и получения подтверждения. Используя это поле, другие станции воздерживаются от передачи на указанный период времени, обновляя вектор NAV виртуального занятия среды соответствующим значением. Таким образом стандарт IEEE 802.11 дополняет физический контроль несущей механизмом виртуального контроля.

Устройства, скрытые от отправителя RTS, принимают кадр CTS и откладывают свою передачу на время, указанное в поле длительности. Это защищает кадры данных от коллизий. Тем не менее, коллизии RTS-кадров возможны, и их количество в расчете на один кадр данных ограничено максимальным числом передач коротких кадров N_r. После получения кадра CTS станция сбрасывает счетчик коротких

передач в ноль. Аналогично, число передач кадра данных в расчете на пакет ограничено **максимальным** числом длинных передач N_d, а счетчик длинных передач сбрасывается в ноль при получении кадра подтверждения. При достижении любого из этих пределов пакет сбрасывается.

После каждой попытки передачи станция выполняет стандартную процедуру отсрочки. Она устанавливает счетчик отсрочки в значение, равное случайному целому числу, называемому временем отсрочки и равномерно распределенному внутри *конкурентного окна (0,... ,w-1). w* зависит от текущего числа *i* совершенных попыток передачи пакета: $w = Wi$. Перед первой попыткой *w* равно **своему минимальному** значению $Wo = CW_{\min}$. После каждой новой попытки *w* **удваивается**, пока не **будет достигнуто** максимальное значение $CW_{max} = 2^m CW_{\min}$. Счетчик отсрочки уменьшается на единицу каждый слот σ, когда канал свободен. Станция прекращает отсчет при обнаружении занятости канала и возобновляет отсчет, если канал оказывается свободен на время DIFS (либо EIFS, если последний принятый кадр был искажен).

В традиционных сетях типа hot spot механизм RTS/CTS позволяет полностью исключить коллизии данных, поскольку все станции слышат кадры CTS, передаваемые точкой доступа. Однако это не так, если станции устанавливают прямые соединения в сетях типа hot spot или в mesh-сетях.

В данной статье показывается, что интерференция между прямыми соединениями может привести к неравномерному распределению пропускной способности сети. В частности, в статье анализируются возможные случаи интерференции с указанием причин неравномерного распределения. Данный

вопрос уже обсуждался в ряде работ (см., например, [5–8]), однако были предложены лишь имитационные модели для его исследования. В данной статье разрабатываются новые аналитические модели для изучения различных случаев интерференции, поскольку существующие подходы, изложенные, например, в [9–11], предполагают, что станции отсчитывают свои интервалы отсрочки синхронно, что не всегда верно в сети со скрытыми терминалами.

2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

В этом разделе рассматриваются несколько вариантов расположений 4 станций, образующих два активных соединения: 1 → 2 и 3 → 4, работающих в режиме насыщения [9]. Получатель или отправитель одного соединения может быть скрыт от получателя или отправителя другого соединения, поэтому предполагается, что всегда используется механизм RTS/CTS. Кроме того, длина пакета данных L считается постоянной.

Для каждого рассматриваемого случая вычисляются следующие показатели производительности:

1. пропускная способность S_m,

2. вероятность $p_{rej}^{(m)}$ сброса пакета ввиду достижения максимального числа попыток,

3. среднее время $E_m[\mathrm{SendTime}]$ передачи одного пакета.

Здесь $m = 1$ или $m = 3$ соответствует номеру станции-отправителя в соединении. Более точно, $E_m[\mathrm{SendTime}]$ – это средний промежуток времени между двумя последовательными моментами, соответствующими концу передачи пакета станцией m, включая интервал DIFS (либо CTS таймаут), завершающий передачу. Эти показатели производительности взаимосвязаны посредством формулы:

$$S_m = \frac{L\left(1-p_{rej}^{(m)}\right)}{E_m[\text{SendTime}]}. \quad (1)$$

В данном разделе описывается общий метод для построения аналитических моделей, применимый для всех **рассмотренных** в работе случаях. Аналогично **[9]** назовем интервал времени между двумя **последовательными** отсчетами таймера отсрочки данной станции виртуальным слотом этой станции. Виртуальный слот может быть пустым или занятым передачей другой станции. Пусть $\tau_m^{(n)}$ – вероятность того, что станция m начинает свою передачу в начале виртуального слота станции n. Также пусть $p_{c_{k-1}}^{(m)}$ – вероятность того, что произошла k-ая коллизия при передаче пакета станцией m, при условии, что уже произошли все $k - 1$ коллизий. В условиях отсутствия коллизий кадров данных среднее время передачи одного пакета определяется следующим образом:

$$\mathrm{E_m[SendTime]} = \mathrm{a_0^{(m)}} + \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{N_r-1}} \mathrm{a_i^{(m)}} \prod_{\mathrm{k=0}}^{\mathrm{i-1}} \mathrm{p_{c_k}^{(m)}}, \quad (2)$$

где $\mathrm{N_r}$ – максимальное число коротких передач, $\mathrm{a_i^{(m)}}$ – длительность $i + 1$-ой попытки, включая время передачи, а также время отсрочки, состоящее в среднем из $\frac{W_i-1}{2}$ виртуальных слотов:

$$\mathrm{a_i^{(m)}} = \frac{W_i-1}{2} t_{slot}^{(m)} + \left(1 - \mathrm{p_{c_i}^{(m)}}\right) l_s + \mathrm{p_{c_i}^{(m)}} \mathrm{l_c^{(m)}}.$$

Здесь l_s = RTS + 3·SIFS + CTS + DATA + ACK + DIFS – время успешной передачи, $\mathrm{l_c^{(m)}}$ – среднее время коллизии, а $t_{slot}^{(m)}$ – средняя длительность виртуального слота:

$$t_{slot}^{(m)} = \left(1 - \tau_n^{(\mathrm{m})}\right)\sigma + \tau_n^{(\mathrm{m})} \mathrm{l_a^{(m)}},$$

где $\mathrm{l_a^{(m)}}$ – **средняя длительность интервала**, на который станция m замораживает свой счетчик отсрочки из-за передачи другой станции, т. е. средняя длительность «занятого» слота.

При условии, что обмен кадрами RTS и CTS надежно

защищает передачу данных, вероятность сброса пакета равна вероятности того, что произойдет ровно N_r коллизий:

$$p_{rej}^{(m)} = p_{c_0}^{(m)} p_{c_1}^{(m)} \dots p_{c_{N_r}-1}^{(m)}. \quad (3)$$

Для нахождения вероятности передачи $\tau_n^{(m)}$ используется метод, описанный в [11]. Рассмотрим процесс передачи пакета станцией m. Пусть f_m и w_m – средние количества соответственно попыток, совершаемых этой станцией, и виртуальных слотов, в которые станция воздерживается от передачи, в течение рассматриваемого процесса. Эти количества определяются следующими выражениями:

$$f_m = 1 + \sum_{i=1}^{N_r-1} \prod_{j=0}^{i-1} p_{c_j}^{(m)} \text{ и } w_m = \frac{W_0 - 1}{2} + \sum_{i=1}^{N_r-1} \frac{W_i - 1}{2} \prod_{j=0}^{i-1} p_{c_j}^{(m)}. \quad (4)$$

Тогда

$$\tau_m^{(n)} = \frac{f_m}{w_m + f_m}. \quad (5)$$

Для нахождения вероятностей коллизий $p_{c_k}^{(m)}$, а также их длительности $l_c^{(m)}$ необходимо рассмотреть каждый из случаев расположения станций, используя изложенный общий метод с некоторыми модификациями. В каждом случае будем отмечать только отличия от общего метода.

Начнем с простейшего случая, когда все станции находятся в пределах ТХ-области (Transmission range) друг друга (рис. 2), т. е. любой кадр, переданный одной из станций, успешно принимается любой другой станцией в отсутствие коллизий. В данном случае $l_a^{(m)} = l_s$ и $\tau_1^{(3)} = \tau_3^{(1)} = \tau$ *из соображений симметрии*.

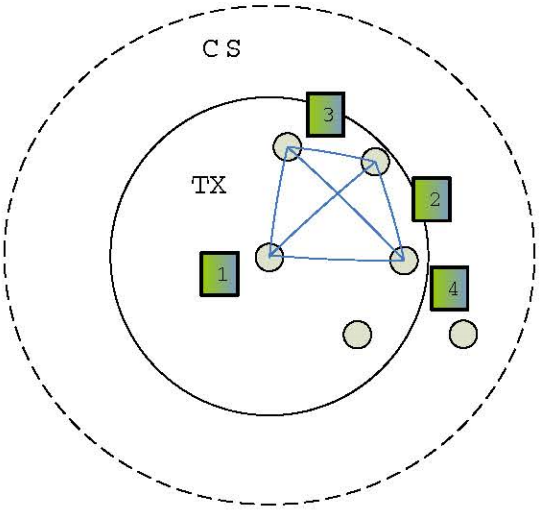


Рис. 2. Случай 1

После успешной передачи станции 3 (см. рис. 3) станции 1 и 3 ждут DIFS и продолжают отсчитывать свои таймеры отсрочки. Если станции 1 и 3 начинают передавать одновременно, происходит коллизия и обе станции вынуждены ждать CTS-таймаут T_c перед тем, как вернуться к процедуре отсчета интервала отсрочки. Поэтому $l_c^{(m)} = RTS + T_c$ и

$$p_{c_i}^{(m)} \equiv \tau, \quad i = \overline{0 \dots N_r - 1}. \qquad (6)$$

Подставляя (6) в (4), найдем τ *из (5).*

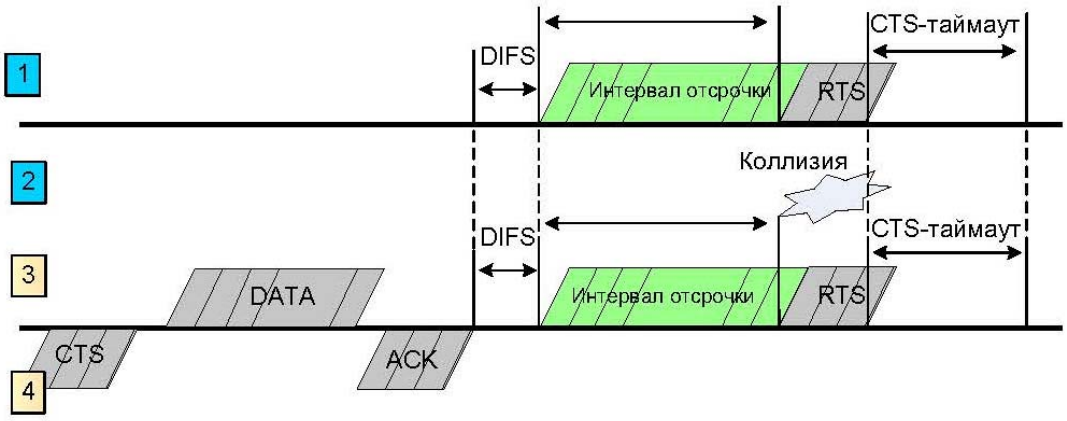


Рис. 3. Процесс передачи пакета в случае 1

2.3. Случай 2

Теперь рассмотрим случай 2, при котором станции 1 и 4 находятся в CS-области (Carrier Sense range) друг друга (см. рис. 4), т. е. любой кадр, переданный одной станцией,

принимается другой станцией некорректно. В силу асимметричности данного случая $\tau_1^{(3)}$ и $\tau_3^{(1)}$ будут различны.

Сначала оценим пропускную способность соединения $1 \rightarrow 2$. На рис. 5 показано, что после того, как станция 3 получила кадр ACK подтверждения от станции 4, она должна подождать время DIFS, в то время как станция 1 не может декодировать этот кадр и должна ждать время EIFS (EIFS > DIFS). Таким образом, возникает так называемый защитный интервал (ЗИ), внутри которого станция 3 может начать свою передачу, не соревнуясь за канал со станцией 1.

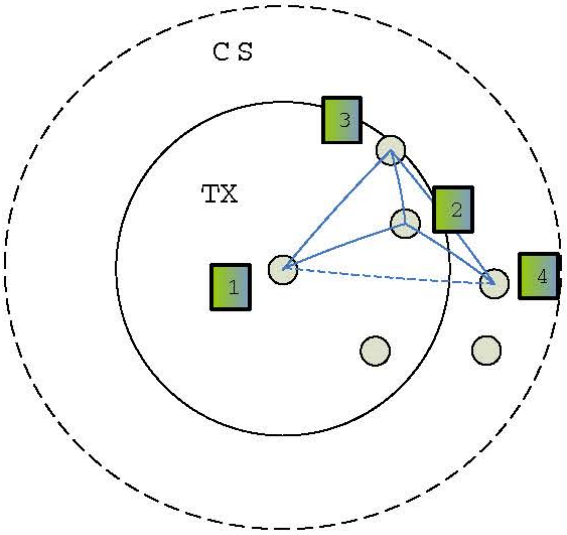


Рис. 4. Случай 2

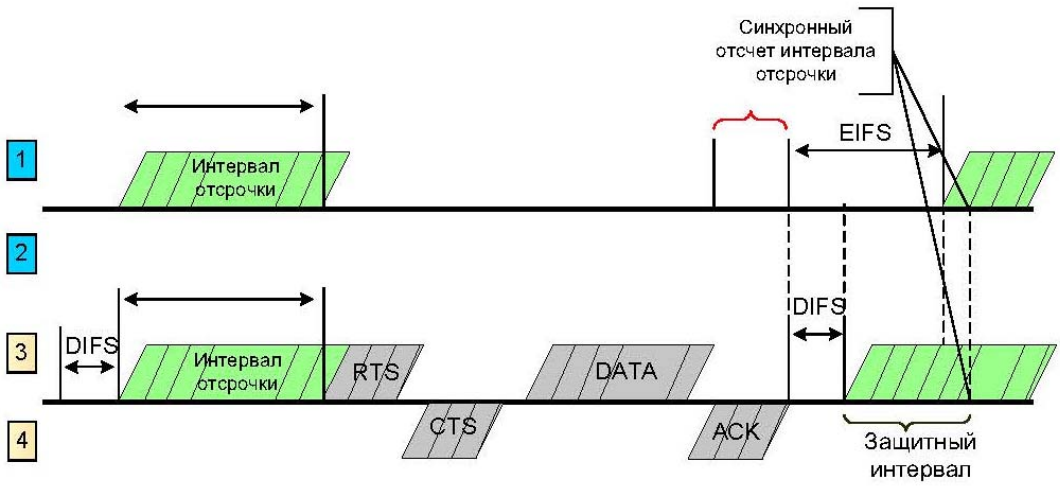


Рис. 5. Защитный интервал

Длина ЗИ в слотах $d = [\hat{d}]$, где $\hat{d} = \frac{EIFS-DIFS}{\sigma}$, а d – целая часть $\hat{d}$. Вероятность того, что станция 3 начнет свою передачу ЗИ, равна $p_d = \frac{d+1}{W_0}$.

Пусть станция 3 начала передавать внутри ЗИ. После этой передачи ситуация с ЗИ повторяется, причем такая цепочка последовательных передач может быть потенциально бесконечной и в среднем содержит $\frac{p_d}{1-p_d}$ дополнительных передач 3, выполняемых без конкуренции за канал со станцией 1, что является причиной неравномерного распределения пропускной способности между соединениями. Таким образом, выражение для $l_a^{(1)}$ будет следующим:

$$l_a^{(1)} = l_s + \hat{d}\sigma + \frac{p_d}{1-p_d}\left(l_s + \frac{d}{2}\sigma\right). \quad (7)$$

Значение $\hat{d}$ не является целым, поэтому после передачи станции 3 станции 1 и 3 отсчитывают свои интервалы отсрочки асинхронно и, следовательно, не могут вступить в коллизию (время RX/TX переключения станции из режима приема в режим передачи пренебрежимо мало). Они вновь синхронизируются после успешной передачи станции 1 или коллизии. Поэтому попытка передачи станции 1 будет неудачной, если станция 3 не передает в течение интервала отсрочки станции 1 и начинает передачу одновременно со станцией 1. В результате имеем следующую формулу для вероятности коллизии:

$$\mathrm{p}_{\mathrm{c_i}}^{(1)} = \tau_3^{(1)} \frac{1}{W_i} \sum_{\mathrm{b}=0}^{\mathrm{W_i}-1} \left(1 - \tau_3^{(1)}\right)^{\mathrm{b}} = \frac{1 - \left(1 - \tau_3^{(1)}\right)^{\mathrm{W_i}}}{W_i}, \mathrm{i} = \overline{0 \ldots \mathrm{N}-1}. \quad (8)$$

Зная $\tau_3^{(1)}$, находим показатели производительности соединения $1 \rightarrow 2$, используя (1), (2) и (3).

Теперь перейдем к оценке производительности соединения $3 \rightarrow 4$. Во-первых, необходимо учесть ЗИ. При

первой попытке передачи пакета станция 3 не испытывает конкуренции со стороны станции 1 с вероятностью p_d.

Поэтому с вероятностью p_d станция 3 отсчитает в среднем $\frac{d}{2}$ пустых слотов и успешно передаст свой пакет.

С вероятностью $1 - p_d$ станция 3 начнет передачу вне ЗИ. Она отсчитает d пустых слотов и в среднем $\left(\frac{W_0-d-1}{2}\right)$ слотов, которые могут быть заполнены передачами станции 1. Следовательно, формула для длительности первой попытки выглядит следующим образом:

$$a_0^{(3)} = p_d\left(l_s + \frac{d}{2}\sigma\right) + (1-p_d)\left[d\sigma + \frac{W_0-d-1}{2}t_{slot}^{(3)}\right] + \left(1-p_{c_0}^{(3)}\right)l_s + p_{c_0}^{(3)}l_C. \qquad (9)$$

Как уже отмечалось, после передачи станции 3 станции 1 и 3 асинхронны. Если в один из виртуальных слотов станции 3 станция 1 вела передачу, они вновь становятся синхронны. Кроме того, коллизия невозможна в течение ЗИ. Поэтому вероятность первой коллизии для станции 3 будет следующей:

$$p_{c_0}^{(3)} = (1-p_d)\,\tau_1^{(3)}\frac{1}{W_0-d-1}\sum_{i=0}^{W_0-d-1}\left(1-\left(1-\tau_1^{(3)}\right)^i\right)$$

$$= (1-p_d)\left[\tau_1^{(3)} - \frac{\left(1-\tau_1^{(3)}\right)\left(1-\left(1-\tau_1^{(3)}\right)^{W_0-d-1}\right)}{W_0-d-1}\right].$$

После первой же коллизии станции, очевидно, будут синхронны, поэтому

$$p_{c_i}^{(3)} \equiv \tau, \quad i = \overline{0 \ldots N_r - 1}.$$

$\tau_1^{(3)}$ и $\tau_3^{(1)}$ находятся из (4) и (5), причем компоненты (4) при нахождении $\tau_3^{(1)}$ несколько меняются из-за того, что станция 1 не отсчитывает интервал отсрочки внутри ЗИ:

$$f_3 = 1 - p_d + \sum_{i=1}^{N_r-1}\prod_{j=0}^{i-1}p_{c_j}^{(3)} \text{ и } w_3 = (1-p_d)\frac{W_0-d-1}{2} + \sum_{i=1}^{N_r-1}\frac{W_i-1}{2}\prod_{j=0}^{i-1}p_{c_j}^{(3)}$$

2.4. Случай 3

Рассмотрим следующий случай (рис. 6), при котором станции 1 и 4 вовсе не «слышат» друг друга (т. е. находятся вне CS-области).

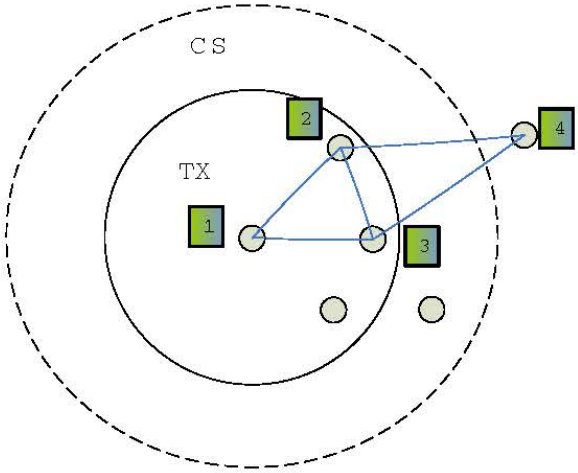


Рис. 6. Случай 3

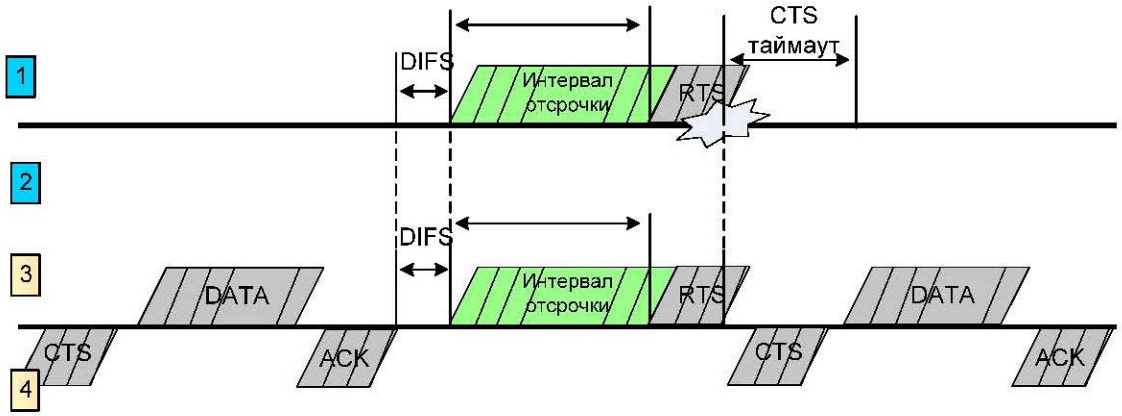


Рис. 7. Коллизия в случае 3

Как показано на рис. 7, в случае одновременной передачи станций 1 и 3 коллизия произойдет на станции 2, но не на станции 4, поскольку она скрыта от станции 1. Поэтому станции 3 и 4 успешно продолжат обмен кадрами. Это значит, что с точки зрения станции 1 длительность коллизии равна времени l_s успешной передачи. Далее используем общий метод с $p_{c_i}^{(3)} = 0$ для всех i и $\tau_3^{(1)} = 2/(W_0 + 1)$, поскольку конкурентное окно станции 3 всегда минимально.

2.5. Случай 4

В этом случае станции 1 и 4 не слышат друг друга вовсе, а станции 1 и 3 так же, как и станции 2 и 4, находятся в пределах CS-области друг друга (см. рис. 8).

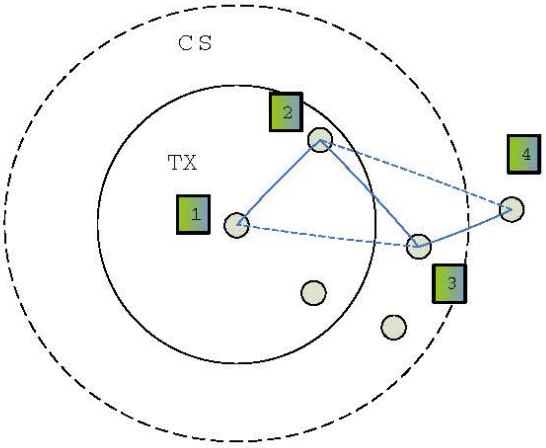


Рис. 8. Случай 4

Данный случай схож со случаем 2. После передачи кадра данных станцией 3 станция 1 не сможет декодировать кадр данных и будет вынуждена ждать время EIFS до возобновления отсчета слотов отсрочки, в то время как станции 3 необходимо ждать меньший интервал SIFS + ACK + DIFS. Поэтому аналогично случаю 2 появляется ЗИ, во время которого станция 3 может начать свою передачу, не испытывая конкуренции со стороны станции 1 (см. рис. 9).

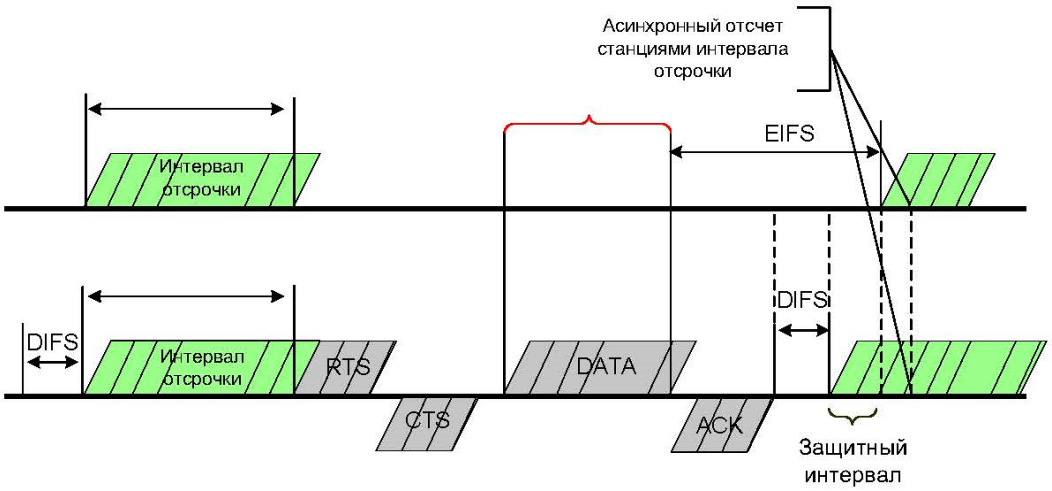


Рис. 9. Процесс пересылки пакетов. Случай 4

Длина ЗИ в этом случае равна $d = \left[\hat{d} = \frac{EIFS-(SIFS+ACK+DIFS)}{\sigma}\right]$ слотов, и формула (7) верна с этим новым значением d. Однако в отличие от случая 2 станции 1 и 3 становятся синхронны только после успешной передачи станции 1, но не после коллизии. Более того, аналогично случаю 3, если станции начнут передавать одновременно, коллизия произойдет только на станции 2, но не на станции 4. Поэтому показатели производительности для соединения $3 \to 4$ находятся с помощью формул (1), (2), (3), (9) и $\mathrm{p}_{\mathrm{c_i}}^{(3)} = 0$ для всех i. Как и в случае 3, конкурентное окно станции 3 всегда минимально, поэтому ее вероятность передачи равна $\tau_3^{(1)} = 2/(\mathrm{W}_0 - \mathrm{d} + 1)$.

Заметим, что в отличие от случая 2 лишь одна коллизия возможна для соединения $1 \to 2$. В самом деле, пусть на станции 2 произошла коллизия, тогда станция 3 в любом случае завершит свою передачу успешно и станции 1 и 3 станут асинхронны, поэтому вероятность последующих коллизий равна нулю. Таким образом, вероятность $\mathrm{p}_0^{(1)}$ первой коллизии для станции 1 вычисляется согласно (8), в то время как $\mathrm{p}_{\mathrm{C_i}}^{(1)} = 0$ для $\mathrm{i} = \overline{1..\mathrm{N_r}-1}$, а также $\mathrm{p_{rej}} = 0$. Для соединения $1 \to 2$ длительность коллизионного слота равна времени успешной передачи станции 3, включая возможные дополнительные передачи из-за наличия ЗИ, т. е. $l_c^{(1)} = l_a^{(1)}$. Вероятность передачи $\tau_1^{(3)}$ находится с помощью общего метода.

2.6. Случай 5

В случае 5 лишь станции 2 и 3 слышат друг друга (см. рис. 10). Поскольку станция 1 вовсе не слышит станцию 3, то она может начать свою передачу в любое время, вне зависимости от поведения станций 3 и 4. В частности, отсчет DIFS станцией 3 может быть прерван посылкой ответного кадра CTS станцией 2.

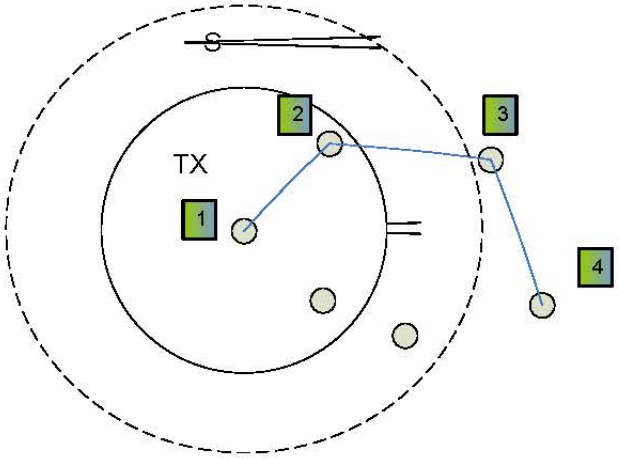


Рис. 10. Случай 5

В данном случае удобно интерпретировать $\tau_1^{(3)}$ как вероятность того, что станция 2 начнет отвечать кадром CTS во время отсчета станцией 3 интервала отсрочки или DIFS. Длительность виртуального слота станции 3, заполненного успешной передачей станции 1, равна $l_a^{(3)} = l_s - RTS - SIFS$, поскольку станция 3 не слышит кадр RTS, посланный станцией 1.

Так как станция 2, использующая механизм виртуального прослушивания канала, не реагирует на приход кадра RTS от станции 1 в интервале от начала передачи RTS станцией 3 до окончания передачи ACK станцией 4, прерывание DIFS возможно только спустя SIFS после его начала. Длительность интервала, в течение которого станция 1 может прервать отсчет DIFS станции 3, равна $d = \left[\hat{d} = \frac{DIFS-SIFS}{\sigma}\right]$ слотам.

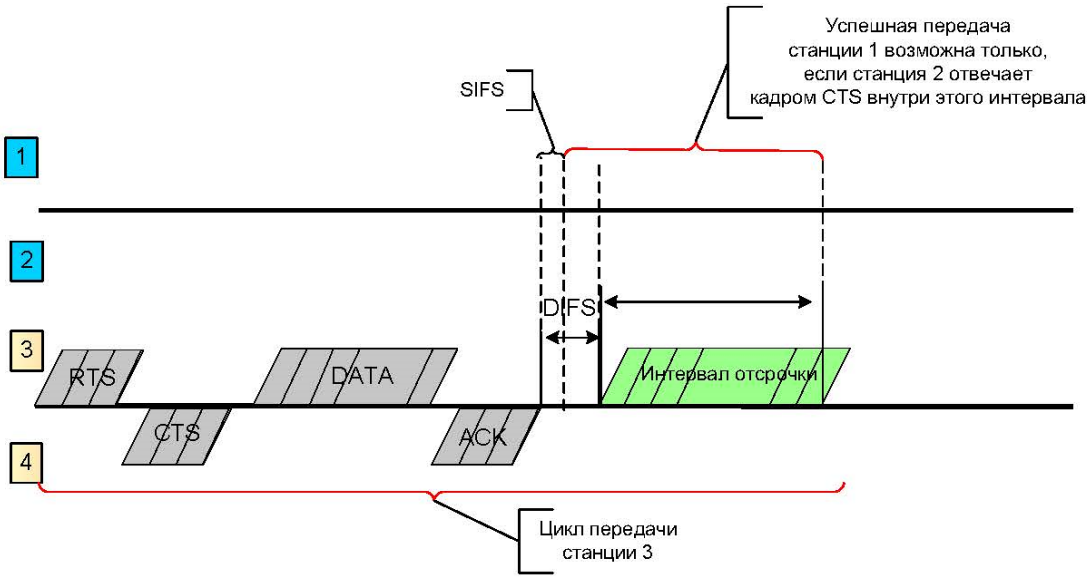


Рис. 11. Случай 5: цикл передачи соединения 3 → 4

Аналогично случаю 3, передача станции 3 всегда успешна и ее конкурентное окно всегда минимально. Поэтому

$$\mathrm{E}_3[\mathrm{SendTime}] = \mathrm{l_s} - \mathrm{DIFS} + \mathrm{SIFS} + \left[d + \frac{W_0 - 1}{2}\right] l_{slot}^{(3)}. \qquad (10)$$

Теперь рассмотрим соединение 1 → 2. Передача станции 1 будет неудачной в случае, если она началась либо за время (RTS + SIFS) до передачи станции 3, либо внутри интервала ($\mathrm{l_s}$ – RTS – DIFS) после начала передачи станции 3 (см. рис. 11). Цикл передачи станции 3 состоит из самой пердачи и интервала отсрочки. Станция 1 может равновероятно начать передачу кадра RTS в любой момент внутри цикла передачи станции 3 за исключением времени, когда станция 3 замораживает счетчик отсрочки из-за передачи станции 1. С учетом этого исключения длина одного цикла равна $l_{cycle}^{(3)} \approx \mathrm{l_s} + \frac{W_0 - 1}{2}\sigma$. Тогда находим вероятность коллизии как следующее отношение:

$$\mathrm{p}_{\mathrm{c_i}}^{(1)} = \mathrm{p_c} = \frac{SIFS + \mathrm{l_s} - \mathrm{DIFS}}{l_{cycle}^{(3)}} \qquad (11)$$

и оцениваем показатели производительности соединения 1 → 2, используя общий метод и учитывая, что в этом случае $\mathrm{l}_{\mathrm{a}}^{(1)} = \sigma$ и $\mathrm{l}_{\mathrm{c}}^{(1)} = \mathrm{RTS} + \mathrm{T_c}$. Для нахождения $\tau_1^{(3)}$ *воспользуемся (3).*

2.7. Случай 6

В случае 6 станции 2 и 3 находятся в CS-области друг друга. Остальные станции полностью скрыты друг от друга (см. рис. 12). Аналогично случаю 5 станция 1 может начать свою передачу независимо от поведения станций 3 и 4, поэтому отсчет DIFS станции 3, а также ее интервала отсрочки может быть прерван ответом станции 2.

Обмен кадрами RTS/CTS не защищает передачу данных станции 1, поскольку механизм виртуального прослушивания в этом случае не работает. Таким образом, вероятность коллизии p_c нужно разделить на два компонента: вероятность p_{cR} коллизии кадра RTS и вероятность p_{cD} коллизии кадра данных при условии, что передача RTS была успешна. Ввиду неработоспособности механизма виртуального прослушивания, станция 2 отвечает кадром CTS, даже если станция 1 послала свой RTS сразу после окончания передачи кадра данных станцией 3. Поэтому в (10) исключим SIFS из суммы и переопределим d: $d = \left[\frac{DIFS}{\sigma}\right]$.

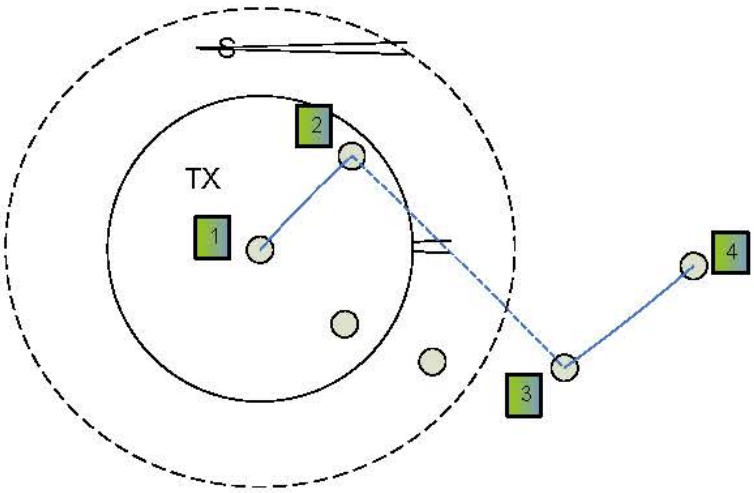


Рис. 12. Случай 6

Как будет показано далее, если DIFS или интервал отсрочки станции 3 будет прерван кадром CTS станции 2, вслед за которым последует интервал EIFS (поскольку станция 3 не может декодировать кадр), затем интервал отсрочки станции

3 также будет прерван кадром ACK станции 2 с вероятностью $1 - p_{cD}$ (см. рис. 13). Следовательно, $\mathrm{l}_{\mathrm{a}}^{(3)} = \mathrm{CTS} + \mathrm{EIFS} + (1 - p_{cD})(\mathrm{ACK} + \mathrm{EIFS})$. Далее используем (10) для нахождения $E_3[SendTime]$.

Теперь найдем вероятности коллизии для станции 1. Как и в случае 5, введем понятие цикла передачи как интервала времени между окончаниями двух последовательных передач кадров данных станцией 3. Пусть $t = 0$ соответствует моменту начала цикла передачи. Передача кадра RTS станции 1 успешна, если она начинается в момент

$t_1 \in I(b) = [0, \Delta + b\sigma]$, где $\Delta = SIFS + ACK + DIFS - RTS$ и $b \in [0, W_0 - 1]$ – время отсрочки станции 3. Очевидно, средняя длина интервала $I(b)$ успеха RTS равна $\mathrm{l}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{RTS}} = \Delta + \frac{\mathrm{w}_0 - 1}{2}\sigma$. Тогда (11) изменяется следующим образом:

$$p_{cR} = 1 - \frac{\mathrm{l}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{RTS}}}{l_{cycle}^{(3)}}.$$

Даже если станция 1 успешно передает свой кадр RTS, следующий за ним кадр данных может быть искажен последующей передачей кадра RTS станцией 3, и вероятность коллизии данных зависит от интервала отсрочки b станции 3.

Если станция 1 начала свою передачу в момент времени $t_1 \in I(b)$, она завершит передачу кадра данных в момент времени

$$t_1^c = t_1 + RTS + 2 \cdot SIFS + CTS + DATA.$$

Кадр CTS станции 2 прерывает или DIFS станции 3, если $t_1 < \Delta - SIFS$, или ее интервал отсрочки. Следовательно, станция 3 закончит отсчитывать интервал отсрочки в момент времени

$$t_3^c = t_1 + RTS + SIFS + CTS + \mathrm{EIFS} + \mathrm{b}\sigma - \max\{0, t_1 - \Delta + SIFS\}.$$

Очевидно, что кадр данных станции 1 будет передан успешно, если $t_3^c \geq t_1^c$, то есть

$$b > b_0 = [(DATA + SIFS - \mathrm{EIFS})/\sigma] \text{ и } t_1 \leq \Delta_1 + \mathrm{b}\sigma,$$

где

$$\Delta_1 = \mathrm{EIFS} + ACK + DIFS - SIFS - RTS - DATA.$$

Таким образом,

$$p_{cD} = 1 - \frac{1}{W_0 l_s^{RTS}} \sum_{b=b_0+1}^{W_0-1} (\Delta_1 + b\sigma) = 1 - \frac{W_0 - 1 - b_0}{W_0 l_s^{RTS}} \left(\Delta_1 + \sigma \frac{W_0 + b_0}{2}\right).$$

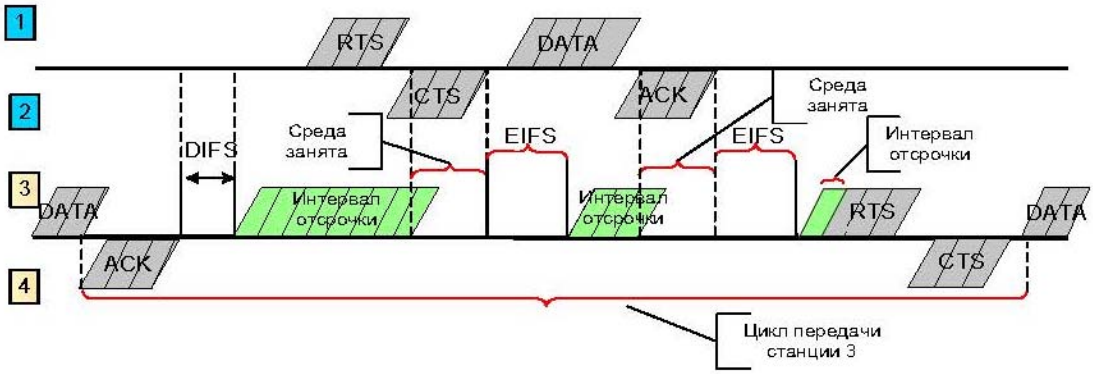


Рис. 13. Случай 6: цикл передачи

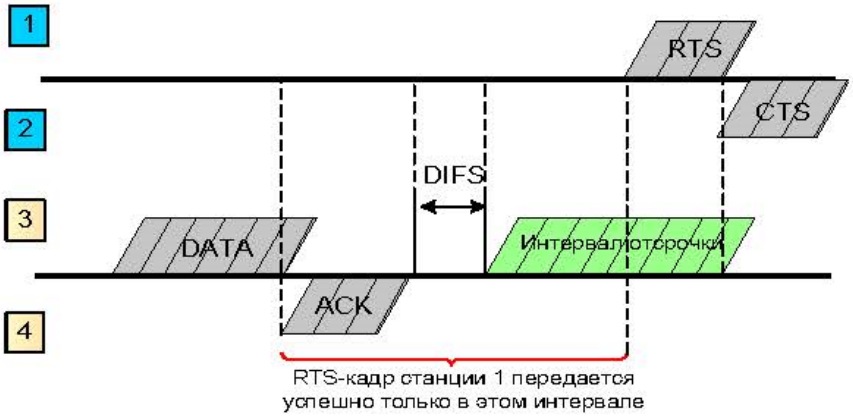


Рис. 14. Случай 6: интервал успешной передачи кадра RTS станцией 1

Поскольку число попыток передачи кадра RTS перед каждой передачей кадра данных и число попыток передачи кадра данных ограничены соответственно пределами N_r и N_d, вероятность отказа вычисляется по следующей формуле:

$$p_{rej}^{(1)} = p_{cD}^{N_d}\left[1 - p_{cR}^{N_d}\right]^{N_d} + \sum_{j=1}^{N_d}\left[1 - p_{cR}^{N_d}\right]^{j-1} p_{cR}^{N_r}\, p_{cD}^{j-1}.$$

Чтобы найти $E_1[\text{SendTime}]$ и $\tau_1^{(3)}$, используем метод, предложенный в [11]. В соответствии с ним найдем вероятности $\psi_s(j,i), \psi_r(j,i)$ и $\psi_d(j,i)$ того, что процесс передачи пакета закончился успехом или неудачей в силу

достижения предела N_r или N_d при условии, что произошло соответственно i и j неудачных передач кадров RTS и DATA.

1. Пусть пакет передан успешно и при этом произошло $j < N_d$ неудачных передач кадра DATA и $i \le (j+1)(N_r - 1)$ неудачных передач кадра RTS. Вероятность такого события равна $\psi_s(j,i) = (1-p_{cD})p_{cD}^{j}(1-p_cR)^{j+1}p_cR^{j}g(i,j+1)$, где $g(i,j+1)$ – целочисленная функция, означающая число способов, которыми i неудачных передач RTS могут быть помещены в $j+1$ интервалов, предшествующих каждой из передач DATA, так, чтобы каждый интервал содержал не более $N_r - 1$ неудачных передач RTS. Эта функция вычисляется рекурсивно:

$$g(0,j) = 1 \ \ \forall_j \ge 0, \ \ g(1,j) = 1 \ \ \forall_i < N_r, \ \ g(1,j) = 0 \ \ \forall_i \ge N_r \ ,$$

$$g(i,j) = \sum_{k=0}^{\min(i,N_r-1)} g(i-k, j-1), \ \ j \ge 2, i > 0.$$

2. Пусть пакет сброшен из-за достижения предела N_d. Вероятность такого события равна $\psi_d(i) = p_{cD}^{N_d}(1-p_{cR})^{N_d}p_{cR}^{i}g(i,N_d)$, где $i \le N_d(N_r - 1)$.

3. Пусть пакет сброшен из-за достижения предела N_r. Вероятность такого события равна $\psi_c(j,i) = p_{cD}^{j}\left(1-p_{cR}\right)^{j}p_{cR}^{i}g(i,N_r,j)$, где $j < N_d$ и $N_r \le i \le +j(N_r - 1)$.

Используя эти вероятности, находим $E_1[\text{SendTime}]$, f_1 и ω_1:

$$f_1 = 1 + \sum_{j=0}^{N_d-1}\sum_{i=0}^{(j+1)(N_r-1)} (j+i)\,\psi_s(j,i) + \sum_{i=0}^{N_d(N_r-1)} (i + N_d - 1)\psi_d(i) + \sum_{j=0}^{N_d-1}\sum_{i=N_r}^{N_r+j(N_r-1)} (i+j-1)\,\psi_r(j,i) \ ,$$

$$w_1 = \sum_{j=0}^{N_d-1}\sum_{i=0}^{(j+1)(N_r-1)} \overline{W_{i+j}}\,\psi_s(j,i) + \sum_{i=0}^{N_d(N_r-1)} \overline{W_{j+N_d-1}}\psi_d(i) + \sum_{j=0}^{N_d-1}\sum_{i=N_r}^{N_r+j(N_r-1)} \overline{W_{i+j-1}}\,\psi_r(j,i) \ ,$$

$$E_1[SendTime]$$

$$= \sum_{j=0}^{N_d-1} \sum_{i=0}^{(j+1)(N_r-1)} \psi_s(j,i)\left[\overline{\mathrm{W_{i+j}}}\sigma + \mathrm{i(RTS + T_c)} + \mathrm{j(l_s - \Delta + T_a)} + \mathrm{l_s}\right]$$

$$+ \sum_{i=0}^{N_d(N_r-1)} \psi_d(i)\left[\overline{\mathrm{W_{j+N_d-1}}}\sigma + \mathrm{i(RTS + T_c)} + \mathrm{N_d(l_s - \Delta + T_a)}\right]$$

$$+ \sum_{j=0}^{N_d-1} \sum_{i=N_r}^{N_r+j(N_r-1)} \psi_r(j,i)\left[\overline{\mathrm{W_{i+j-1}}}\sigma + \mathrm{i(RTS + T_c)} + \mathrm{j(l_s - \Delta + T_a)}\right],$$

где T_a — ACK-таймаут и

$$\overline{W_i} = \sum_{k=0}^{i} \frac{W_k - 1}{2}$$

3. ЧИСЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В этом разделе разработанные аналитические модели применяются для оценки показателей производительности соединений $1 \rightarrow 2$ и $3 \rightarrow 4$ и проводится сравнение результатов, полученных посредством аналитических и имитационных моделей. Имитационные модели были разработаны с использованием среды GPSS World [12] и учитывают все существенные особенности стандарта [1] в предположении, что протокол IEEE 802.11a, обеспечивающий битовую скорость 54 Мбит/с, используется как протокол физического уровня. Значения параметров протокола IEEE 802.11, применяемые при моделировании, представлены в таблице 1.

Таблица 1. *Значения параметров протокола*

Длительность слота (σ)	9 мкс
$CW_{\min}$	16
$CW_{\max}$	1024
Полезная нагрузка (L)	8196 бит
N_r	7
N_d	4
ACK	24 мкс
RTS	24 мкс
CTS	24 мкс
DATA	180 мкс
CTS- и ACK-таймауты, (T_c, T_a)	50 мкс

DIFS	34 мкс
EIFS	94 мкс
SIFS	16 мкс

На рис. 15 показаны пропускные способности соединений. Для каждого из случаев представлены результаты имитационного и аналитического моделирования, которые практически совпадают, что демонстрирует высокую точность разработанных аналитических моделей.

В случае 2 после окончания передачи кадра ACK станцией 4 станция 1 ждет интервал EIFS до возобновления отсчета отсрочки, в то время как станция 3 будет ждать лишь интервал времени DIFS, который намного короче EIFS. Это означает, что станция 3 имеет больше шансов повторно получить доступ к среде передачи, чем станция 1, что в свою очередь приводит к неравномерности распределения пропускной способности между двумя прямыми соединениями. Сравнение столбцов, соответствующих случаю 2 на рис. 15, показывает, что пропускная способность соединения 1 → 2 в 3 раза меньше пропускной способности соединения 3 → 4.

В случае 3 при одновременной передаче кадров RTS станциями 1 и 3 станция 4 принимает кадр RTS от станции 3 верно, а станция 2 регистрирует коллизию. Различная реакция на коллизии обуславливает отличие в пропускной способности соединений, так как: а) станция 3 не реагирует на коллизии и, как следствие, ее конкурентное окно всегда минимально; б) станция 1 увеличивает свое конкурентное окно после коллизии, тем самым снижая свой шанс в следующий раз получить доступ к среде передачи. Таким образом, распределение пропускной способности сети между прямыми соединениями остается неравномерным, хотя и в меньшей степени, чем в случае 2: см. соответствующие столбцы на рис. 15.

В случае 4 на распределение пропускной способности сети оказывают влияние два эффекта: ненадежная работа

механизма виртуального контроля несущей (как и в случае 2) и различная реакция на коллизии (как и в случае 3). Степень несправедливости распределения пропускной способности в этом случае меньше, чем в случае 2, но больше, чем в случае 3.

В случаях 5 и 6 станция 1 абсолютно скрыта от станций 3 и 4, что приводит к крайней неравномерности распределения пропускной способности между прямыми соединениями. С высокой вероятностью станция 1 передает кадр RTS в течение обмена кадрами между станциями 3 и 4 и соответственно не получает ответа от станции 2. Очень быстро конкурентное окно станции 1 приближается к максимальному значению, уменьшая с каждой попыткой шансы станции 1 получить доступ к среде передачи. Конкурентное окно станции 3, напротив, всегда минимально, поскольку передача станции 3 всегда успешна. Рис. 15 показывает, что в случае 5 пропускные способности прямых соединений 1 → 2 и 3 → 4 отличаются на порядок. В случае 6 механизм RTS/CTS не может защитить данные, передаваемые станцией 1, от коллизий, что еще более ухудшает распределение пропускной способности: пропускная способность соединения 1 → 2 чрезвычайно мала, а пропускная способность соединения 3 → 4, в свою очередь, практически равна общей пропускной способности сети.

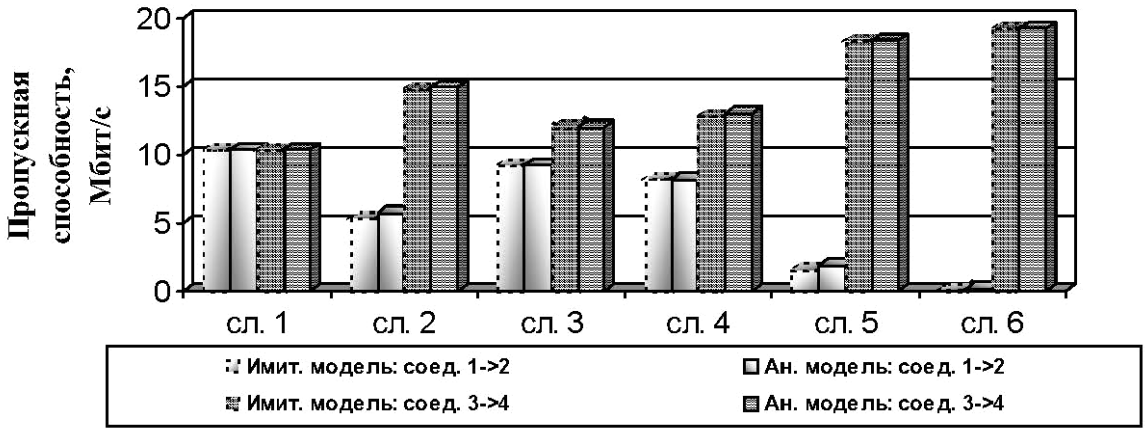


Рис. 15. Пропускные способности соединений в различных случаях

На рис. 16 показаны значения еще одного показателя производительности – среднего времени передачи пакета E[SendTime] – в каждом из рассмотренных случаев. В случае 2 этот показатель для соединения 1 → 2 почти в три раза больше, чем для соединения 3 → 4. В случаях 3 и 4 эта разница не столь велика. Однако в случаях 5 и 6 различия в среднем времени передачи пакета весьма значительны: в случае 6 столбец, соответствующий соединению 1 → 2, почти в двадцать раз выше столбца для соединения 3 → 4.

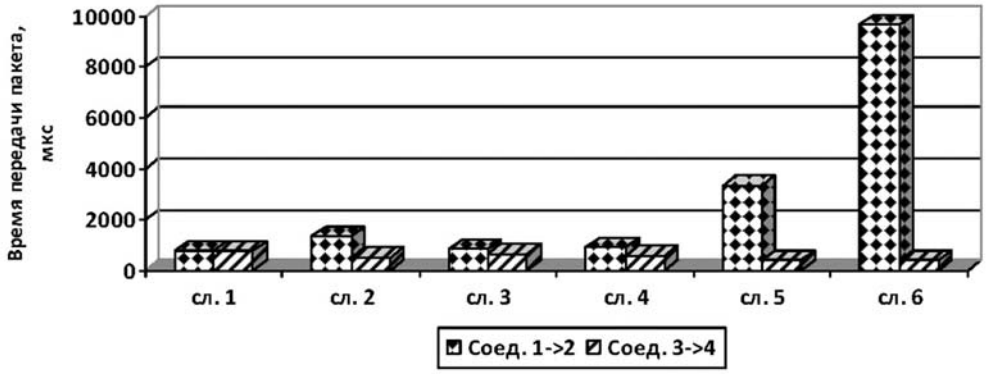


Рис. 16. Среднее время передачи пакета в различных случаях

В таблице 2 показаны вероятности сброса пакетов. Для случаев 1–4 вероятности сброса пакетов практически равны нулю. В случаях 5 и 6 для соединения 1 → 2 эти вероятности неприемлемо высокие, что означает полный отказ в работе этого соединения.

Таблица 2. *Вероятность сброса пакета*

Случай 1	
Соединение 1 → 2	2.00E-07
Соединение 3 → 4	2.00E-07
Случай 2	
Соединение 1 → 2	1.66E-07
Соединение 3 → 4	4.48E-15
Случай 3	
Соединение 1 → 2	3.12E-07
Соединение 3 → 4	0
Случай 4	
Соединение 1 → 2	0
Соединение 3 → 4	0
Случай 5	

Соединение 1 → 2	0.187
Соединение 3 → 4	0
Случай 6	
Соединение 1 → 2	0.69
Соединение 3 → 4	0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа посвящена изучению влияния взаимной интерференции прямых соединений на распределение пропускной способности в сетях IEEE 802.11. Рассмотрены несколько случаев расположения двух прямых соединений. Для каждого из случаев разработана аналитическая модель, позволяющая оценить такие показатели производительности соединения, как пропускная способность, среднее время передачи одного пакета и вероятность сброса пакета.

В этих моделях принимаются во внимание следующие эффекты:

1. Использование разных межкадровых интервалов (EIFS вместо DIFS) из-за ненадежной работы механизма виртуального прослушивания канала.

2. Чередование интервалов синхронного и асинхронного отсчета интервалов отсрочки станциями-отправителями, причем коллизии невозможны при асинхронном отсчете.

3. Одновременная передача кадров двумя станциями может восприниматься как коллизия лишь для одной станции.

4. Неработоспособность механизма виртуального прослушивания канала в случае, когда отправитель одного соединения скрыт от отправителя и получателя другого соединения.

Применяя построенные модели, показывается, что первый и третий эффекты ведут к значительной неравномерности распределения ресурса канала (пропускные способности соединений могут отличаться в два или три раза). Последний эффект в списке даже может вызвать отказ одного соединения, когда вероятность сброса пакета становится слишком высокой.

В последнее время на заседаниях Комитета IEEE 802 по стандартам локальных и городских сетей предложено несколько различных подходов для защиты прямых соединений от взаимной интерференции и обеспечения равномерного распределения пропускной способности в сетях типа hot spot. Согласно одному из этих подходов перед передачей кадра данных инициатор передачи по прямому соединению обменивается кадрами RTS и CTS с точкой доступа, а не со станцией-получателем. При этом значения поля длительности в кадрах RTS и CTS устанавливаются такими, чтобы полностью «накрыть» ожидаемую последовательность кадров по прямому соединению, включая кадр подтверждения. Поскольку кадр CTS, посланный точкой доступа, принимают все станции сети, они воздерживаются от передачи на **указанный** период времени. Таким образом прямое соединение оказывается **защищенным** от воздействия скрытых станций. Однако данный подход, защищая одно прямое соединение, в то же время препятствует параллельной передаче по всем другим соединениям. Когда в сети имеется два или более пространственно разнесенных (изолированных друг от друга) соединений, они могут работать параллельно, и пропускная способность сети увеличивается в несколько раз. К сожалению, предложенный подход не позволяет использовать эту потенциальную возможность резкого повышения производительности сети.

Авторами данной работы совместно с другими исследователями было предложено другое решение [13], направленное на защиту прямых соединений. В основе его лежит идея пересылки через точку доступа (путем установки в единицу бита ToDS в заголовке [1]) специального широковещательного кадра DLA (Direct Link Announcement), анонсирующего передачу по прямому соединению. Кадр содержит в себе **MAC-адреса** источника и получателя

планирующейся прямой передачи, список MAC-адресов соседних станций, которые попадают в области покрытия, т. е. тех, с которыми может произойти коллизия, а также длительность прямой передачи. Этот список может быть получен средствами радиоизмерения, определяемыми в дополнении 802.11k [14] к стандарту [1].

После того как точка доступа пересылает широковещательный кадр DLA, станция-источник, получившая «свой» кадр DLA, спустя интервал PIFS (PIFS<DIFS) начинает передачу кадров данных по прямому соединению, избегая таким образом конкуренции с другими станциями. В течение этой передачи станции, включенные в список, не могут быть ни передатчиками, ни получателями во избежание возможных коллизий. Станциям, не включенным в список, разрешен обмен кадрами параллельно с анонсируемой передачей без отправки собственных кадров DLA. Очевидно, что это решение сохраняет всю выгоду от параллельной работы пространственно разнесенных соединений.

Для mesh-сетей также можно рассмотреть несколько способов защиты прямых соединений от взаимной интерференции и соответственно обеспечения равномерного распределения пропускной способности. Во-первых, можно использовать механизм детерминированного доступа MDA (Mesh Deterministic Access) [2] для резервирования канала, при котором приемник и получатель включают в свои синхрокадры (биконы) специальные анонсирующие информационные элементы для поддержки резервирования. Во-вторых, проблема интерференции может быть решена путем применения эффективных маршрутных решений: если на одном из соединений наблюдается высокая нагрузка, необходимо минимизировать использование близлежащих соединений. В-третьих, можно использовать **многоканальный** режим работы

mesh-сети, когда mesh-устройства используют несколько радиоинтерфейсов, каждый из которых настроен на отдельный канал. Назначение каналов для радиоинтерфейсов соответствующим образом позволяет избежать случаев (таких, как случаи 5 и 6 в разделе 2), когда интерференция приводит к серьезному замедлению работы соединения или даже к его отказу. Математические модели, полученные в данной работе, могут послужить основой создания эффективных методов оценки производительности mesh-сетей, необходимых для разработки алгоритмов назначения каналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. IEEE Std 802Л1-2007, Revision of IEEE Std 802.11-1999. IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area network – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. IEEE Computer Society, June 2007.
2. IEEE P802.11s/D2.0, Draft Amendment to Standard. *Mesh Networking*. March 2008.
3. Skalli H., Ghosh S., Das S.K., Lenzini L., Conti M. Channel assignment strategies for multiradio wireless mesh networks: issues and solutions. *IEEE Comm. Magazine,* 2007, vol. 45, no. 11. P. 86–95.
4. Duffy K., Leith D.J., Li T., Malone D. Modeling 802.11 mesh networks. *IEEE Comm. Letters,* 2006, vol. 10, no. 8. P. 635–637.
5. Xu S., Saadawi T. Does the IEEE 802.11 MAC Protocol Work Well in Multihop Wireless Ad Hoc Networks? *IEEE Comm,. Magazine,* 2001, vol. 39, no. 6. P. 130–137.
6. Huang X.L., Bensaou B. On Max-Min Fairness and Scheduling in Wireless Ad Hoc Networks: Analytical Framework and Implementation. Proc. *ACM MobiHoc,* Oct. 2001. P. 221–231.
7. Jiang L.B., Liew S.C. Improving Throughput and Fairness by Reducing Exposed and Hidden Nodes in 802.11 Networks. *IEEE Trans. Mobile Comput.,* 2008, vol. 7, no. 1. P. 34–49.
8. Ng P.C., Liew S.C. Offered Load Control in IEEE 802.11 Multi-Hop Ad Hoc Networks. Proc. *First IEEE Int'l Conf. Mobile Ad Hoc and Sensor System (MASS'D4),* Oct 2002.
9. Bianchi G. Perfomance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function. *IEEE J. Selected Areas in Commun.,* 2000, vol. 18, no. 3. P. 535–547.
10. Cali F., Conti M., Gregori E. Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit. *IEEE/ACM Trans. Networking,* 2000, vol. 8, no. 6. P. 785–799.
11. Vishnevsky V.M., Lyakhov A.I. 802.11 LANs: Saturation Throughput in the Presence of Noise. Proc. of *2nd Int. I PIP TC6 Networking Conf. (Networking 2002),* Pisa, Italy, May 19–24, 2002. – *Lecture Notes in Computer Science,* 2002, vol. 2345. P. 1008–1019.
12. GPSS World®, available on *http://www.minutemansoftware.com*
13. Seok Y., Lyakhov A., Safonov A., Yakimov M., Kim Y. Fair and Protected DLS. *IEEE 802.11-07/2061rl,* September 2007.
14. IEEE P802.11k/D13.0, Draft Amendment to Standard. *Radio Resource Measurement of Wireless LANs.* March 2008.

ТЕМА 9. СТЕПЕНЬ РАЗРАБОТАННОСТИ ПРОБЛЕМЫ (ИЛИ ИСТОРИЯ ВОПРОСА)

В превалирующем большинстве отраслей знания, кроме, наверное, математики и классических естественных наук, время от времени приходится сталкиваться со своими или чужими (и неизвестно еще, что хуже) сомнениями в том, что «это» вообще наука.

В самом начале курса мы уже касались того, что «наука» или «не наука» зависит практически на сто процентов от того, *как*, а не от того, *что* изучается. Эта позиция тоже имеет своих противников, потому что наука – это также и плюрализм.

Причина этих сомнений, скорее всего, кроется не в чем ином, как в склонности думающего человека сомневаться вообще во всем и в себе в том числе. Поводом же к сомнениям такого рода служат обычно очень конкретные вещи, разбор которых будет небесполезен с методической точки зрения.

Как правило, о том, что кто-то (например, он сам) занимается «не наукой», человек задумывается тогда, когда видит методологическую или методическую спекуляцию или неясность. И наоборот, исследование, проводимое методически безупречно, сразу повышает нашу веру в науку в целом.

Для начинающего исследователя в технических науках причиной для сомнений в себе и своей науке обычно является механическое привязывание научного аппарата к решению практической задачи. Для того чтобы этого не происходило, нужно только одно – понять, что если вы делаете что-то не то, то это делаете вы, а не наука, и делать правильно и честно.

А это значит, в частности, что никогда не надо начинать с решения практической задачи «руками», даже если вы себе хорошо представляете, как это нужно сделать, и научный (или производственный) руководитель хорошо объяснил задачу и

дал необходимый инструментарий. В этом случае после выполнения практической задачи исследователь начинает «прикручивать» к ней обзор литературы, гипотезу, доводы и обоснования – все это выглядит крайне механистично, искусственно, принуждает к спекуляциям там, где обнаруживаются нестыковки, и приводит к разочарованию в научном методе, хотя он, строго говоря, не имеет к описанному развитию событий решительно никакого отношения.

Начинать работу над любой – самой практической – задачей надо с изучения литературы. Этот тезис может казаться начинающему исследователю в области технических наук надуманным и игнорироваться, поскольку задача, которую он получает, является а) новой б) инженерной и литературы, посвященной непосредственно ей, нет или даже в принципе не может быть, в лучшем случае – это программная или техническая документация.

Это в корне неверно, и источник такого заблуждения в непонимании назначения раздела работы «История вопроса» или «Степень разработанности проблемы», как его принято называть в последнее время.

Зачем нужен обзор источников

В первую очередь, конечно, читать литературу нужно для того, чтобы «не изобрести велосипед». Это как раз та цель, которая начинающему исследователю, как правило, очевидна, что и вселяет в него уверенность в том, что если его задача является новой, то изобрести велосипед ему не грозит, иначе его руководители взяли бы готовый велосипед, а не поручали ему изобретение нового.

Однако из самых общих соображений хорошо понятно, что научный руководитель просто не может сформулировать настолько новую тему, чтобы по ней вообще не было решительно никакой литературы. Ньютон считал, что видит дальше других потому, что стоит на плечах гигантов. Хемминг считает, что сегодня мы стоим скорее друг у друга на пятках, чем на плечах (не потому, что стало мало места, а потому, что все склонны собираться там, где уже и так много участников, выбирая так называемые «популярные» темы [Хемминг]). Но

так или иначе, новое всегда начинается там, где заканчивается старое, где его становится уже недостаточно. А это означает, что параметры этого потребного «нового» определяются именно тем, чем же стало недостаточно «старое».

Иными словами, исследователь точно поймет стоящую перед ним инженерную задачу только в том случае, если он разберется в том, недостаточность какого именно рода каких именно решений относительно каких именно объективных свойств среды, с которой он имеет дело (в нашем случае – компьютерной системы), привела к постановке и детализации его практической задачи.

Такого рода «предыстория» у новой задачи даже самого прикладного характера есть всегда, и *прежде*, чем приниматься за ее решение, нужно эту предысторию выяснить и изучить.

Пример описания «предыстории» инновационной разработки – новой компьютерной архитектуры – в статье В. А. Конявского приведен в конце этого раздела [Конявский]. Необходимо учитывать, что это именно статья, то есть жанр, принципиально ограниченный по объему, с одной стороны, и неквалификационный, с другой стороны, а значит, автор ничего никому не должен доказывать относительно своих знаний. Однако именно приведение истории вопроса в кратком виде позволяет ему наглядно изложить основания своей – еще раз подчеркну – абсолютно новой научной концепции.

Приведу здесь в пример историю вопроса в своей диссертации, как случай в некотором роде близкий с точки зрения целевой установки, однако относящийся все же именно к квалификационному исследованию. Интересен этот случай тем, что может показать, как обзор литературы становится частью логически непрерывной цепочки доказательства, с одной стороны, и, с другой стороны, как может история вопроса не стать формальностью, если составляется она тогда, когда у исследователя уже сложилась собственная концепция (к чему спорить, так разумеется бывает по целому ряду причин, в том числе потому, что интуиция («блестящие догадки» по Пойя) случаются с исследователями, погруженными в проблему, довольно часто, и вот уже догадка есть, самому исследователю все очевидно, но теперь ее надо доказать). Когда мы решаем

задачу на доказательство, в отличие от задачи на нахождение, требования к строгости доказательства зачастую намного выше, что, в принципе, логично. Так обязательно должно происходить и с собственными требованиями исследователя к себе: если гипотеза появилась не из ясно повторимого пути рассуждения, а просто исследователь вдруг ясно понял, что оно вот так и не иначе, – он вполне может оказаться прав, но доказать свою правоту, в том числе самому себе, он должен намного более тщательно. В моем случае гипотеза сложилась именно так – при попытке охватить задачу одним взглядом, по формулировке Пойя. Коротко, моя гипотеза сводится к тому, что в русском языке с языка древнерусской письменности по сей день есть продуктивная словообразовательная модель, по которой новое слово образуется путем изменения числовой парадигмы (у него пропадают формы единственного числа, остаются только формы множественного – и в значении «один», и в значении «много»), при этом обязательно происходит приращение смысла «дискретности», и дополнительно для разных групп могут добавляться еще определенные типы смыслов, глубже в это погружаться здесь не имеет смысла. Эта гипотеза является довольно радикальной (настолько, что, хотя она до сих пор не опровергнута ни логически, ни эмпирически, она все еще считается гипотезой – именно в силу своей радикальности), поэтому требовала повышенного внимания к строгости доказательства, в связи с этим каждое положение я обосновывала либо до сведе́ния к определению, либо до сведе́ния к доказанным положениям. Буквально каждое, даже оправданность постановки вопроса тем или иным образом. Поэтому история вопроса у меня присутствует не в одной, а сразу в двух главах, и в ней путем установления внутрисистемных связей с существующими в науке теориями я обосновываю правомерность сначала диахронического исследования слов pluralia tantum, а затем – правомерность выделения в числовом значении словообразовательного компонента. В обоих случаях из анализа литературы вытекал некоторый набор характеристик, на предмет которых проверялись слова, являющиеся объектом исследования.

Первый обзор литературы вводился так:

«Проводить любого рода диахроническое исследование на материале какого-либо класса слов можно в том случае, если этот класс слов обладает на протяжении истории языка одними и теми же характеристиками. Для данного исследования этот принцип будет звучать так: слова pl. t. могут быть материалом для диахронического исследования в том случае, если их характеристики на протяжении истории языка постоянны. Разумеется, речь должна идти не о любых характеристиках, а о тех, которые являются для данного класса определяющими, формирующими его как феномен. Для того чтобы утверждать устойчивость класса слов pl. t. в истории языка, представляется необходимым начать с анализа их лексико-семантических и грамматических свойств, а также особенностей их функционирования» [29. Гл. 1].

Вывод же по главе содержал утверждение о системности и устойчивости класса:

«Существительные pl. t. представляют собой класс слов, внутренне организованный как по грамматическим, так и по лексико-семантическим признакам и постоянный по своим характеристикам, поэтому он может быть и, очевидно, должен быть привлечен в качестве материала для диахронического исследования. А поскольку неполнота числовой парадигмы слов pl. t. вызвана не грамматическими их особенностями, не исключенностью из действия категории числа и не “утратой” парадигмы ед. ч., а связана с присущим всем им значением “структурной сложности”, то их необходимо проанализировать с точки зрения природы этого значения» [Там же].

Второй обзор вводился с прямой формулировкой вопроса:

«Выбор слов pl. t. в качестве материала для исследования механизмов исторического безморфемного словообразования обусловлен тем, что слова эти объединены четким формальным признаком (неполной числовой парадигмой), группируются в определенные семантические подмножества, обнаруживают ярко выраженные и достаточно определенные словообразовательные связи и сохраняют эти признаки практически неизменными в истории языка.

Для того чтобы описать на примере слов pl. t. словообразовательные механизмы, необходимо доказать, что эти слова – результат действия неких словообразовательных механизмов. При этом производность каждого конкретного слова не может быть аргументом в пользу этого утверждения даже в том случае, если производными окажутся все без исключения слова pl. t. (хотя не во всех случаях это вообще доказуемо).

Тот или иной класс слов может быть материалом для описания тех или иных механизмов только в том случае, если признак, лежащий в основе выделения этого класса, непосредственно связан с этими механизмами. Так, слова pl. t. могут быть материалом для описания словообразовательных механизмов только в том случае, если они не просто производны, но если при этом признак, лежащий в основе их объединения (неполная числовая парадигма), связан с их производностью, то есть со словообразованием этих слов, а не явился результатом каких-либо других изменений.

Для того чтобы утверждать эту связь, в первую очередь надо ответить на вопрос о том, в какой мере числовая парадигма (и шире – число существительных) может быть связана со словообразованием» [Там же. Гл. 2].

В выводах по главе я разделила две категории, связанные в русском языке с противопоставлением единственности и множественности, выдвинув таким образом теоретическую гипотезу системного характера, совместимость которой была продемонстрирована материалом главы, – эта гипотеза не просто поддерживала одну из конкурирующих грамматических теорий, а примиряла их, устраняла противоречие, создавая единую систему.

«Таким образом, в области определения категории числа лежат словоформы, значения которых противопоставлены по признаку “один – не один”. Выражается этот признак падежно-числовыми окончаниями, синтагматически или контекстом. А слова, значения которых противопоставлены по признаку “цельность – дискретность”, – область определения другой категории: словообразовательной категории “цельность – дискретность”, категоризирующие семы которой формально

выражаются с помощью суффиксов единичности, собирательности и особенностями числовой парадигмы.

А стало быть, слова pl. t., являясь результатом действия этой категории, могут и даже должны быть материалом для изучения входящих в нее словообразовательных моделей» [Там же].

Разумеется, без третьей главы, представляющей собой исследование конкретных словообразовательных моделей, эта гипотеза осталась бы логическим конструктом.

С примером обширной истории вопроса в теоретическом труде по защите информации можно познакомиться в книге В. А. Конявского и В. А. Гадасина «Основы понимания феномена электронного обмена информацией» [21. Гл. 1. С. 22–92], в которой именно это составляет содержание 1-й главы.

Часто исследователю мешает убеждение, что от него требуется сделать аналог какого-то решения «просто» с помощью какого-то другого инструментария и/или для других условий. В этом случае, как ему кажется, все, что от него требуется, – это изучить то «эталонное» решение и те условия, для которых его нужно адаптировать, после чего «взять и сделать». И места изучению источников тут, казалось бы, нет, во всяком случае, целесообразному, а не исключительно из-за того, что «так надо».

Однако при ближайшем рассмотрении становится ясно видно, что этот случай ничем не отличается от предыдущего, ведь для того, чтобы аналог не привел к деградации эталонного решения, он должен быть не механически перенесен в другие условия, должны быть тщательно проверены все возможные следствия из изменения условий, для которых он адаптируется. А для этого исследователем должны быть усвоены все выкладки, на основании которых построен «эталон», иначе его внутренняя логика, оставшись «черным ящиком», будет вырвана из контекста, а значит, вместо пазла получится заплатка. Повторение пути создания эталонного решения нужно начинающему исследователю для того, чтобы

обнаружить и осознать все разнообразие и глубину его системных связей, зависимость каждой составляющей решения от объективных особенностей системы (в широком смысле), для которой оно создавалось. В этом случае полученный аналог будет не хуже прототипа, а станет его развитием, возможно, даже существенно превзойдя начальное решение – хотя бы за счет изменения уровня науки и техники (каждый новый Ньютон может встать на плечи все более высокой пирамиды гигантов).

Также важным результатом, невозможным без тщательного изучения не самого решения, а предпосылок его создания, могут стать обнаружение его несовершенств и предложения по их устранению.

Этот тонкий процесс неверно сводить к утверждениям типа «в настоящее время принято использовать другой стандарт», поскольку принципиальные решения не могут приниматься на основаниях актуальности документов, даже технических. Необходимо проделать серьезную аналитическую работу по выяснению причин изменения (появления нового) стандарта, характера связи адаптируемого решения со стандартом, потерявшим актуальность, провести параллели, выявить и обосновать принципиальную применимость нового стандарта и все следствия из этого перехода. Такая работа потребует привлечения далеко не только текста стандарта и документации на адаптируемое решение, но и теоретических источников, лежащих в основе как стандарта, так и решения, а также и тех изменений в условиях, которые детерминировали необходимость адаптации.

Другими словами, мы обнаруживаем необходимость той же самой «предыстории», что и в остальных случаях. Именно поэтому название реферативной части работы, сейчас отошедшее в прошлое, – «история вопроса» – представляется более удачно отражающим смысл раздела, чем современная «степень разработанности проблемы».

Итак, оказывается, что изучение литературы помогает не только не изобрести велосипед, но и не допустить деградации решения в процессе его переработки.

Это тоже еще не все. Чтение литературы поможет не только *не* изобрести, но и *изобрести* велосипед. И для эффективности в

этом отношении список реферируемых источников целесообразно максимально расширить (разумеется, в пределах разумной соразмерности самому вопросу). Литература становится источником новизны двумя основными путями.

Читая литературу, исследователь

1) отклоняет все, что уже показало свою несостоятельность прямо или косвенно (то есть либо буквально рассматривалось как путь решения этой же или аналогичной задачи, либо по результатам рассмотрения в других контекстах очевидно, что вам не подойдет);

2) может натолкнуться на данные, которые придадут новое направление его рассуждениям, что в результате приведет к новому знанию.

В обоих случаях при изучении источников исследователь должен держать в голове классические «вопросы Пойя»: можно ли применить это решение для другой задачи? Есть ли связь между этими задачами? Какие следствия вытекают из этого решения? Нельзя ли получить решение иначе? И так далее. Приступая к решению своей задачи, уже на этом подготовительном этапе исследователь должен взять за правило рассматривать все, что только можно, с точки зрения того, как это работает (может работать) на его задачу (или на что-то хотя бы отдаленно с нею связанное). Запустить эти механизмы удобнее всего именно в процессе чтения специальной литературы, так как она, если исследователь не ошибся с выбором специальности, будит воображение, как ничто другое.

Для того чтобы максимально увеличить шансы найти то, что станет толчком для неожиданного поворота мысли, выборка литературы должна быть ощутимо шире, чем «литература по теме», это очевидно из соображений здравого смысла. Однако, не ставя себе целью стать настоящим коммунистом[1], овладеть

[1] «Коммунистом стать можно лишь тогда, когда обогатишь свою память знанием всех тех богатств, которые выработало человечество» (Ленин В. И. Задачи союзов молодежи. Речь на III Всероссийском съезде Российского Коммунистического Союза Молодежи 2 октября 1920 года).

всей суммой знаний, выработанных человечеством, в рамках работы над рефератом, НИР или даже дипломом – малореально. Разумеется, должен осуществляться отбор, и отбор не случайный. Принципы отбора материала в основу работы могут быть положены разные, их целесообразно согласовывать с научным руководителем и обязательно нужно формулировать и явно представлять в работе, так как это отражение верной или ошибочной методологии исследования.

Здесь стоит отметить только одно – в любом случае неверно отбирать только «близкие по духу» источники, потому что, во-первых, это вызовет нарекания относительно неознакомленности с альтернативной точкой зрения, а во-вторых, что не менее важно, аргументация противоположных взглядов и тем более прямая полемика могут дать новый ракурс рассмотрения и новые аргументы в пользу позиции, которую вы считаете верной.

В остальном выбор принципа отбора и собственно отбор литературы – это процесс творческий и индивидуальный. Так, может быть целесообразно привлекать работы, в которых описываются аналогичные по сути исследования совершенно другого предмета (например, сравнение не брокеров, а компрессоров или канальных скремблеров), если аналогию при этом удастся провести относительно строго – выявив соответствия параметров и процедур, а не просто на основании того, что «здесь тоже сравнение».

Довольно часто (откровенно говоря, почти всегда) следует привлекать источники по вопросам «на шаг назад» до той задачи, которую планируется решать практически. Так, реализуя механизм разграничения доступа для конкретных условий в рамках конкретной модели – все равно неверно не проанализировать базовые работы о разграничении доступа вообще. Предлагая пути развития и совершенствования какого-то решения в изменившихся условиях или на новом уровне техники (этот пример обобщенной формулировки задачи уже приводился выше), невозможно не проанализировать предпосылки того, как и почему было получено совершенствуемое решение, иначе рекомендации не будут иметь веса, даже будучи стихийно правильными.

Общий принцип отбора можно сформулировать так: необходимо разыскать и проанализировать все, что касается вашей задачи непосредственно, и все великие или просто выдающиеся чем-то конкретным произведения, касающиеся работы опосредованно, – в части методов, предыстории и полемики.

При этом хорошо понятно, что мировой запас «великих» исследователей и исследований пополняется не так быстро, как было бы полезно, поэтому за первые несколько лет работы над темой исследователь накопит достаточную базу фоновых профессиональных знаний, чтобы оперировать ими с достаточной степенью свободы. Однако необходимо помнить, что никаким другим путем, кроме чтения, эта база не наработается, даже общение с авторами или выполнение с ними совместных проектов чтения научной литературы не заменит.

Каким должен быть обзор

В первую очередь, аналитическим. Это означает, что он должен содержать не пересказ прочитанного, а его анализ. Эта мысль не так тривиальна, как кажется на первый взгляд, потому что на практике весьма значительное число рефератов и обзорных разделов исследовательских работ представляют собой именно пересказ, построенный, в лучшем случае, в хронологическом порядке (а часто и просто в том порядке, в котором исследователю довелось прочитать пересказываемые работы).

Для того чтобы так не получалось, читать литературу нужно для чего-то, а не потому, что так надо. Однако, разумеется, не всегда (а на ранних этапах исследовательской деятельности – крайне редко) можно, приступая к изучению истории вопроса, сразу поставить перед собой ту задачу, которую следует решить путем анализа источников. Как правило, у начинающего исследователя для этого просто недостаточно опыта и эрудиции.

В этом случае может быть два варианта развития событий: точную задачу, вопрос, на который нужно найти ответ, поставит руководитель либо исследователь «пойдет за

материалом», выведет полезные знания из того, что прочитает без предварительного замысла. Последний вариант представляется более «честным» и творческим, но и более сложным, поэтому остановимся на нем, имея в виду, что работа с материалом по готовому замыслу ведется принципиально так же, просто несколько проще, поскольку заранее известна фокусировка поиска.

Алгоритм работы с источниками каждый исследователь вырабатывает для себя в соответствии со своими предпочтениями, универсального рецепта, а тем более требований, тут быть не может. Однако можно примерить на себя советы по чтению литературы, например, из книги Ф. А. Кузина «Диссертация…» [Кузин, с. 121–128], которые, если очень кратко суммировать, сводятся к графическому конспектированию (конспектированию источников в виде диаграмм и рисунков), а затем – итеративной проверке и дополнению этих конспектов. Способ довольно любопытный, но не совсем удобный тем, что предполагает многократное «повторение пройденного», что подойдет по темпераменту не всякому начинающему исследователю.

Мой собственный способ изучения источников выглядит примерно так: при формировании первичной выборки я разбиваю их на «очереди» по тому, насколько полезной, по моим прогнозам, окажется книга. Обычно дело заканчивается тремя очередями, книгами четвертой очереди, как правило, можно пренебречь. В каждой очереди я группирую книги по тому, окажутся они, по моим прогнозам, предметом для полемики или выражением позиции, к которой я скорее всего присоединюсь. И наконец, каждую группу я разделяю на источники, которые скорее всего окажутся важными с точки зрения методологии исследования и те, что дадут мне материал, непосредственно касающийся предмета изучения, каких-либо его аспектов, а не аспектов его изучения и описания.

Разумеется, эти группы могут пересекаться, более того, группировка по косвенным признакам вообще может оказаться (и часто оказывается) ошибочной, однако без нее объем работы выглядит шокирующе большим, и мало того что не понятно, с чего начать, так начать еще просто психологически трудно.

Я начинаю чтение с источников первой очереди, к которым предполагаю присоединение. А вот методологического или предметного характера – зависит от степени моего знакомства с предметом. Если я только начинаю с ним знакомиться, то сначала постараюсь узнать о самом предмете, если же я уже имею о нем представление, то сначала мне будет интересно почерпнуть методологические идеи, а затем уже – какие-то новые неизвестные мне нюансы.

Полностью присоединяясь к советам Ф. А. Кузина, я также рекомендую конспектирование в той или иной удобной данному исследователю форме. Конспектирование должно обязательно содержать как минимум следующие сведения:

- как можно более точную ссылку на источник до страницы,
- относится материал к методологии или к предмету,
- согласен/не согласен автор конспекта с автором конспектируемого материала и
- краткую запись, которая позволит восстановить в памяти, о чем речь, когда исследователь начнет собирать сюжет обзора.

Выписки цитат или пересказ в настоящее время, когда большинство текстов доступны или в электронном виде, или хотя бы для ксерокопирования, то есть с книгой не придется расстаться после прочтения в читальном зале, кажутся избыточными, но если они удобны исследователю, то никаких противопоказаний к этому виду фиксации знаний, конечно, быть не может.

Отдельно стоит выписывать ссылки на другие источники, которые встречаются в изучаемом исследователем тексте, если они, разумеется, кажутся ему интересными или потенциально важными. В дальнейшем крайне нежелательно ссылаться на них «вслепую», не обращаясь к самому источнику, потому что, во-первых, это не вполне честно, во-вторых, «вложенные» ссылки довольно легко выявляются и не украшают исследователя, а в-третьих, ссылка может быть дана некорректно или она может быть некорректно понята без привлечения контекста. Ну и не менее важно, что в источнике, который чем-то уже привлек внимание исследователя, может

содержаться что-то еще более интересное или важное, не стоит это упускать.

Действуя таким образом, получим 4 группы записей: «методология за», «методология против», «предмет за», «предмет против» (очереди потеряют значение, так как они устанавливают лишь последовательность ознакомления, а она в дальнейшем уже ни на что не влияет). В зависимости от того, какая из групп окажется наиболее насыщенной интересным и подталкивающим к собственным рассуждениям материалом, можно начинать выстраивать логику и композицию реферата.

Ф. А. Кузин разводит «литературный, или обзорный» реферат и «реферат методологического характера» на два отдельных жанра работы, давая по ним отдельные рекомендации и разные композиционные планы [Кузин, с. 34–36]. Отчасти это оправданно, но только в том случае, если по каким-то причинам, не совсем очевидного характера (автор о них не упоминает), перед исследователем стоит задача ознакомиться и сделать выводы только одного или другого рода. Можно предположить, что в реферате как самостоятельном жанре работы, не в реферативной части более обширного исследования, задача может сводиться к чему-то одному в соответствии с формулировкой темы. В случае же, если обзор пишется как составная часть исследовательской работы, одинаково большое значение имеют выводы обоих типов и целесообразно построить реферат так, чтобы он содержал и то, и другое.

Нет причин, чтобы предлагаемые Ф. А. Кузиным планы невозможно было совместить в рамках одной работы.

Пример плана обзорного реферата по Кузину:

1) вводное слово о целевой установке реферата;
2) теоретическое и прикладное значение темы;
3) спорные вопросы в определении сущности явления или свойств предмета;
4) новые публикации по освещению темы;
5) нерешенные вопросы, их прикладное, социальное или экономическое значение [Кузин, с. 36].

Пример плана реферата методологического характера по Кузину:

1) основные задачи исследования темы;

2) анализ наиболее употребительных методов исследования конкретного объекта;

3) отзывы видных специалистов о частнонаучных методах по изучению данного объекта;

4) выводы и предложения по существу дела [Там же].

Очевидно, что между этими разделами нет противоречий, которые могли бы воспрепятствовать совмещению в одной работе обзоров одного и другого вида. Важно только не смешивать эти разделы и четко демонстрировать назначение каждого из них.

Именно в этом, к слову, кроется основное противопоказание против хронологического изложения или группировки источников по авторам, например. В этих случаях данные, полезные для исследования, окажутся изложены хаотично, а значит, использовать их будет сложнее, изложение не станет механизмом порождения собственных мыслей и идей, а будет просто формальным пересказом прочитанного, но не присвоенного материала.

«Присвоение» материала произойдет тем лучше, чем сильнее он будет «вплетен» в ткань собственного рассуждения исследователя. Иными словами, материал, изложенный единым куском, – хуже, чем материал, отдельные части которого применены в разных частях рассуждения со сложной структурой, отдельные положения которого оспариваются, другие – принимаются, методология которого разведена с предметной составляющей, и они рассмотрены как вместе, так и по отдельности, положения которого сопоставлены (или противопоставлены) положениям других источников и сгруппированы разнообразным образом. Такая работа решит обе стоящие перед исследователем задачи – покажет его аналитические способности и исследовательские навыки, с одной стороны, а с другой – позволит сгенерировать собственные выводы и идеи, руководствуясь сразу всем контекстом введенных в оборот научных результатов.

Таким образом, приведенные выше планы (или любой другой композиционный план, который исследователь положит в основу своего реферата) нужно понимать с добавлением к

каждому пункту слов «на материале всех или части источников». Это, разумеется, не относится к «вводному слову о целевых установках реферата» – в нем необходимо сформулировать общий принцип отбора, из каких источников почерпнуты данные для каких разделов, а также обосновать репрезентативность материала (то есть если принцип отбора – почему именно эти, то репрезентативность в данном случае – почему привлеченных источников, на взгляд исследователя, достаточно).

Альтернативный предложенному Ф. А. Кузиным план реферата, совмещающего в себе методологическую и предметную составляющие, может выглядеть так:

1) введение с целевой установкой реферата, обоснованием корпуса источников и описанием композиции работы;

2) общая характеристика корпуса источников, их группировка относительно поставленных во введении задач обзора;

3) анализ методологии, подходов и исследовательских процедур, представленных в источниках в отношении изучаемого предмета, сгруппированный в параграфы по тому, на что направлено исследовательское действие (например, живучесть/надежность/защищенность или угрозы/нарушители/механизмы защиты и т. д.):

- те положения, к которым автор готов присоединиться,
- те положения, которые автор вынужден отвергнуть,
- выводы о корпусе приемлемых подходов и приемов в соотнесенности с указанными во введении целевыми установками (то есть с акцентом на методологию, касающуюся изучение интересующих автора реферата аспектов предмета);

4) анализ представленных в источниках сведений о предмете изучения, построенный в соответствии с теми характеристиками предмета, которые нашли свое отражение в источниках:

- параграфы о представленных в литературе аспектах предмета от более важных для автора реферата к менее важным, в каждом из которых изложены сначала те взгляды, к

которым автор присоединяется, а затем – полемика, в случае необходимости,

- аспекты предмета, оставленные до сих пор в литературе без внимания или изученные недостаточно, в той же последовательности – от более важных для исследователя к менее важным,

- выводы о корпусе сведений о предмете, введенных в научный оборот, на которые можно опираться в дальнейшем исследовании, и о том, какие задачи предстоит решить автору реферата или другим ученым (также в соответствии с целевыми установками реферата);

5) выводы по реферату в целом, содержащие общие итоги относительно сформулированных во введении целевых установок, – на какие подходы, положения, определения или что-либо еще, выявленное в ходе работы с литературой, в дальнейшем автор планирует опираться, а восполнение каких именно лакун войдет в состав исследовательских задач.

Скорее всего, не получится такого, что относительно каких-то важных аспектов не удастся почерпнуть ни сведений, ни подходов, намечающих хотя бы направления исследования. Если же такое все-таки получится, то нужно подумать о привлечении дополнительных источников.

Главный совет, в котором едины все методологи науки, – исследователь станет действительно эффективным, если при столкновении практически с любыми данными, даже не научного, а художественного, методологического, философского или обыденно-бытового характера, он станет оценивать их с точки зрения того, чем они могут быть ему полезны для решения его задачи.

Как отмечает Хемминг в публичной лекции «Вы и Ваше исследование» [Хемминг], это не будет способствовать тому, что вы хорошо проведете время, но будет способствовать тому, что вы сделаете что-то великое.

От себя добавлю, что приемлемый баланс между величием и хорошим времяпрепровождением – вопрос сугубо индивидуальный, потому что в полном погружении в научную

проблему есть драйв и азарт ничуть не меньший, чем в спорте и отдыхе уж как минимум.

В приведенном далее отрывке из книги Ф. А. Кузина «Диссертация…» [Кузин] описаны способы начального поиска литературы по различным научным направлениям. Начинающие исследователи зачастую не верят в актуальность этого материала, считая его скорее историческим. Это не так, все это на самом деле существует и может использоваться. Для поиска можно использовать электронные и аналоговые каталоги, на эти издания можно подписываться (на бумажные версии) или заключать договоры на использование электронных версий. Все эти детали можно уточнить на сайтах тех организаций, о которых идет речь в приведенном ниже фрагменте.

Дополнительно стоит упомянуть сайт www.elibrary.ru, не упомянутый в книге Ф. А. Кузина в силу относительной молодости этого ресурса. Собственно, по этой же причине этот сайт можно рекомендовать как источник сведений о новых публикациях, но в отношении книг и статей более чем десятилетней давности его коллекция не полна и, видимо, с переориентаций на журнальные статьи существенно пополняться, особенно систематически, не будет. Однако поскольку основную проблему для начинающих исследователей представляют именно новые работы, этот сайт можно рекомендовать к использованию.

Доступ к ряду статей на этом сайте ограничен – или является платным, или совсем отсутствует и доступна только аннотация. Не стоит забывать, что платит пользователь в этой ситуации за доступ со своего дивана. Если вы принципиальные противники того, чтобы платить за контент, вспомните о существовании аналоговых библиотек (в виде зданий с книгами) и возьмите работу там.

Задание на дом по этой теме желательно дать в связи с курсовой или семестровой работой студентов, если она есть в соответствующем семестре, – обосновать выборку литературы к своей работе.

ŧ ɟ ƀ ɔ ə ʐ . Ȭ. Ō ɔ ɜ̄ ɜ̄ a з в Rɢ ɔ ł… Ł. 114ð121.

3.3. Библиографический поиск литературных источников

Знакомство с опубликованной по теме диссертации литературой начинается с разработки идеи, т. е. замысла предполагаемого научного исследования, который, как уже указывалось ранее, находит свое выражение в теме и рабочем плане диссертации. Такая постановка дела позволяет более целеустремленно искать литературные источники по выбранной теме и глубже осмысливать тот материал, который содержится в опубликованных в печати работах других ученых, ибо основные вопросы проблемы почти всегда заложены в более ранних исследованиях.

Далее следует продумать порядок поиска и приступить к составлению картотеки (или списка) литературных источников по теме. Хорошо составленная картотека (список) даже при беглом обзоре заглавий источников позволяет охватить тему в целом. На ее основе возможно уже в начале исследования уточнить цели.

Просмотру должны быть подвергнуты все виды источников, содержание которых связано с темой диссертационного исследования. К ним относятся материалы, опубликованные в различных отечественных и зарубежных изданиях, непубликуемые документы (отчеты о научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, диссертации, депонированные рукописи, отчеты специалистов о зарубежных командировках, материалы зарубежных фирм), официальные материалы.

Состояние изученности темы целесообразнее всего начать со знакомства с **информационными изданиями**, цель выпуска которых – оперативная информация как о самих

публикациях, так и о наиболее существенных сторонах их содержания. Информационные издания в отличие от обычных библиографических изданий оперируют не только сведениями о печатных произведениях, но и идеями и фактами, в них заключенными.

Помимо оперативности публикации, их отличают новизна сообщаемой информации, полнота охвата источников и наличие справочного аппарата, позволяющего быстро систематизировать и отыскивать документы.

В настоящее время выпуском информационных изданий занимаются институты, центры и службы научно-технической информации (НТИ), которые охватывают все отрасли народного хозяйства.

Сеть этих институтов и организаций в нашей стране объединена в Государственную систему научно-технической информации (ГСНТИ), которая осуществляет централизованный сбор и обработку основных видов документов (обработкой отечественной и зарубежной литературы по естествознанию и техническим наукам занимается ВИНИТИ, по общественным – ИНИОН, патентной документацией – НПО «Поиск», отчеты о НИР и ОКР, защищенные диссертации обрабатывает ВНТИЦ, нормативно-техническую документацию – ВНИИКИ).

Основная масса пособий указанных выше институтов и организаций четко подразделяется на три вида изданий: библиографические, реферативные и обзорные.

Библиографические издания содержат упорядоченную совокупность библиографических описаний, которые извещают специалиста о том, что издано по интересующему его вопросу. Библиографическое описание здесь выполняет две функции. С одной стороны, оно оповещает о появлении документов (сигнальная функция), а с другой – сообщает необходимые

сведения для их отыскания (адресная функция). Из библиографических описаний составляют библиографические указатели и библиографические списки.

Библиографические указатели чаще всего носят сигнальный характер и состоят из перечня библиографических описаний часто без аннотаций и рефератов. Эти издания с максимальной полнотой отражают произведения отечественной и зарубежной литературы. Их отличают оперативность подготовки и сравнительно короткие сроки с момента выхода публикации до момента отражения ее в указателе.

Наиболее значительным библиографическим указателем является «Сигнальная информация» (СИ) ВИНИТИ. Цель такого издания – быстро информировать специалистов о новых публикациях по мировой науке и технике. Именно на эти издания возложена сейчас функция опережающего оповещения читателей о только что вышедшей научной и технической литературе. СИ представляет собой по преимуществу систематические указатели, выпускаемые в виде бюллетеней, тематика которых охватывает почти все отрасли мировой науки и техники.

Отечественные и зарубежные публикации по медико-социальным, гигиеническим и клиническим дисциплинам отражаются в СИ ВИНИТИ в специальной серии «Биология». Оперативность подготовки СИ исключительно высока: в среднем один-два месяца, периодичность выпуска – 24 номера в год.

Реферативные издания содержат публикации рефератов, включающих сокращенное изложение содержания первичных документов (или их частей) с основными фактическими сведениями и выводами. К реферативным изданиям относятся реферативные журналы, реферативные сборники, экспресс-информация, информационные листки.

Реферативные журналы в Российской Федерации по естественным и техническим наукам издает ВИНИТИ под общим заголовком «Реферативный журнал» (РЖ). РЖ ВИНИТИ – основное и самое распространенное в нашей стране реферативное издание, которое наиболее полно отражает всю мировую литературу по естествознанию и технике, публикуя рефераты, аннотации и библиографические описания, составляемые на статьи, монографии, сборники.

РЖ ВИНИТИ – единое многосерийное издание, состоящее из основных томов (в которые входят выпуски, издающиеся самостоятельными тетрадями) и отдельных выпусков, не входящих в сводные тома. Периодичность их выхода в свет – 12 раз в год, за исключением РЖ «Химия» и «Биологическая химия», которые выходят 24 раза в год. Интервал с момента появления публикации до ее отражения в РЖ в среднем около четырех месяцев.

Реферативные сборники представляют собой периодические, продолжающиеся или непериодические издания, которые содержат рефераты неопубликованных документов. Их выпускают центральные институты научно-технической информации и технико-экономических исследований. Такие издания носят обычно узкотематический характер.

Экспресс-информация (ЭИ) – это периодическое издание журнальной или листовой формы, которое содержит расширенные рефераты наиболее актуальных опубликованных зарубежных материалов и неопубликованных отечественных документов, требующих оперативного освещения.

Наибольшую известность среди изданий рассматриваемого вида получила ЭИ ВИНИТИ, которая

адресуется работникам промышленности, научно-исследовательских учреждений, конструкторских и проектных организаций и освобождает их от необходимости отбирать материалы среди огромного числа публикаций в РЖ. Выпуски ЭИ рассылаются по подписке.

В ЭИ публикуются расширенные рефераты наиболее актуальных журнальных статей, описаний патентов, отчетов о научных работах и других документов научно-технического характера. Рефераты содержат все основные данные первоисточников, сопровождающиеся рисунками (графики, схемы, диаграммы, фотографии) и таблицами, а также теоретическими выкладками, вследствие чего необходимость обращения к оригиналу отпадает.

Периодичность выхода выпусков ЭИ различна. В ВИНИТИ периодичность каждой серии – четыре номера в месяц (48 номеров в год). С момента получения оригинальной публикации до ее отражения проходит два-три месяца.

Потребность в информации, способствующей внедрению достижений науки и техники в производство, вызвала широкое распространение **информационных листков –** оперативных печатных изданий, которые содержат рефераты, отражающие информацию о передовом производственном опыте или научно-технических достижениях.

К **обзорным изданиям** относятся обзор по одной проблеме, направлению и сборник обзоров.

Обзоры обобщают сведения, содержащиеся в первичных документах, являясь высшей ступенью их аналитико-синтетической переработки. Такие издания сообщают о состоянии или развитии какой-либо науки или практической деятельности, отражая все новое, что сделано в ней за определенное время.

Цель обзоров – обеспечить проведение научных исследований и опытно-конструкторских разработок на современном уровне развития науки и техники, устранить параллелизм в работе научно-исследовательских организаций, помочь сделать правильный выбор направления и методов разработки в определенной области.

Наиболее значительным обзорным изданием по естествознанию и технике является серия сборников ВИНИТИ «Итоги науки и техники» (ИНТ). Это издание обобщает и систематизирует сведения по материалам, опубликованным в соответствующих выпусках РЖ ВИНИТИ за один-три года. ИНТ издается сериями по отраслям науки и техники и выходит томами с периодичностью один-два раза в год. Каждый том содержит список литературы с указанием номеров рефератов. Серии ИНТ заняли прочное место в системе информационно-библиографических изданий.

В отличие от бюллетеней сигнальной информации и реферативных журналов, где помещаются библиографические описания и рефераты отдельных публикаций, серии ИНТ содержат концентрированную обзорную информацию по актуальным вопросам науки и техники, полученную в результате анализа и оценки содержания большого числа публикаций по каждому вопросу. Цель выпуска таких серий – предоставить специалистам критически оцененную и обобщенную информацию проблемно-ориентировочного характера, знакомя их с содержанием наиболее важных публикаций с минимальными затратами времени.

Очень полезен для розыска материалов, не попавших в печать, Всероссийский научно-технический информационный центр (ВНТИЦентр), осуществляющий сбор, накопление и обработку информации по всем видам непубликуемых исследовательских работ, проводимых в стране, и издающий по

ним информационные издания реферативного и сигнального типа; Всероссийский научно-исследовательский институт технической информации, классификации и кодирования (ВНИИКИ), издающий информационные указатели литературы; Всероссийский научно-исследовательский институт патентной информации (ВНИИПИ), выпускающий оригинальные и собственные информационные издания по различным направлениям изобретательства, в том числе сигнальные, библиографические и реферативные издания.

Исследователям, работающим в области отраслевой науки, следует обязательно знакомиться с изданиями центральных отраслевых органов информации, таких как Всероссийский институт информации и технико-экономических исследований агропромышленного комплекса, Всероссийский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по электронике (Информэлектро), Научно-информационный центр «Информпечать» и др.

Соискателю, ведущему разыскание литературных источников, нельзя обойти вниманием библиографические указатели литературы Государственной публичной научно-технической библиотеки (ГПНТБ). Следует обращать внимание на издания Всероссийской книжной палаты, которая выпускает библиографические указатели «Книжная летопись», «Летопись периодических и продолжающихся изданий», «Летопись газетных статей» и др.; издания Российской государственной библиотеки; Всероссийской государственной библиотеки иностранной литературы, издающей различные библиографические указатели и картотеки.

Наряду с информационными изданиями органов НТИ для информационного поиска следует использовать **автоматизированные информационно-поисковые системы, базы и банки**

данных. Данные поиска могут быть использованы непосредственно, однако чаще всего они служат ступенью (ключом) к обнаружению первичных источников информации, каковыми являются научные труды (монографии, сборники) и другие нужные для научной работы издания.

В связи с развитием научно-исследовательских работ и необходимостью детально анализировать литературу, выпущенную в предыдущие годы, все большее значение для исследователей приобретает **ретроспективная библиография**, назначением которой являются подготовка и распространение библиографической информации о произведениях печати за какой-либо период времени.

Эта библиография представлена широким кругом пособий. Среди них – тематические указатели и обзоры, каталоги отраслевых научно-технических издательств, персональная библиография выдающихся естествоиспытателей и инженеров, библиографические указатели по истории естествознания и техники.

Тематические указатели и обзоры – основная часть ретроспективных изданий по естествознанию и технике. Их готовят центральные научно-технические библиотеки, библиотеки академий, научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений, а также органы научно-технической информации. Указатели отражают литературу по какой-либо отрасли в целом или по ее разделу. Особую группу ретроспективных общеотраслевых библиографических пособий составляют указатели по техническим справочникам. Издаются узкоспециальные ретроспективные библиографические указатели и обзоры. Они выпускаются научно-техническими библиотеками научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений, а также службами научно-технической информации.

Особый вид ретроспективной библиографии – внутрикнижные и пристатейные списки литературы. Социологические исследования показывают, что такие списки приносят специалистам огромную пользу, поскольку информируют их о вышедших за предшествующие годы публикациях, непосредственно относящихся к их роду занятий или профессии, минуя промежуточные библиографические звенья.

Эффективным является изучение списков литературы в отраслевой технической периодике. Сейчас по различным отраслям техники и производства в нашей стране выходит свыше 1000 журналов, периодических сборников и бюллетеней, каждый из которых может информировать своих читателей об имеющихся книгах и опубликованных статьях.

В монографиях библиографические списки встречаются особенно часто и обычно помещаются в конце книги. В тематических сборниках списки приводятся после каждого крупного раздела. В некоторых случаях внутрикнижные списки могут быть большими.

Ретроспективными указателями служат и каталоги отраслевых научно-технических издательств. Их ценность заключается в том, что они содержат наиболее полные и точные списки книг по тематическому профилю того или иного издательства.

Ретроспективный характер носит персональная библиография выдающихся деятелей естествознания и техники. Она очень разнообразна и представлена большим числом изданий. Это персональные указатели отдельных ученых и литературы о них, рубрики «персоналии» в некоторых изданиях и, наконец, библиографические словари, содержащие списки произведений нескольких ученых, а также литературу и биографические сведения о них.

Таков основной круг литературных источников по выбранной теме. Завершив ознакомление с ними, весьма желательно изложить прочитанное в более или менее стройной системе в виде реферата на 15–20 страницах машинописного текста. После этого будет значительно легче более точно сформулировать тему Вашего диссертационного сочинения. <...>

Конявский В. А. Иммунитет как результат эволюции ЭВМ

Электронно-вычислительные машины (ЭВМ, компьютеры) предназначены для выполнения программ – различных алгоритмов, описанных на языках программирования. Здесь слово «различных» практически означает «любых». Компьютер выполняет любые программы. Но заранее определенные функции выполняют не только компьютеры – это делают также конечные автоматы, например. Отличие – именно в том, что компьютер исполняет «любые» программы. Компьютер несравнимо более гибок, универсален по сравнению с конечным автоматом.

Любой компьютер – это реализация (более или менее близкая) идеи «машины Тьюринга» [1].

Понятия «машина Тьюринга» и «алгоритм», вычислимость – неразрывно связаны, определяются одно через другое. Само существование абстрактного «исполнителя», такого, как машина Тьюринга, – вселяет уверенность во всемогуществе человека. Действительно, любая (точнее, рекурсивная, что и есть практически любая) задача может быть решена, если достаточно ресурсов (памяти и времени).

Возможно, завораживающая простота формулировок и спровоцировала разработку универсальных вычислительных машин (средств вычислительной техники, СВТ; персональных ЭВМ, ПЭВМ), которые частично (с конечной памятью) моделируют машину Тьюринга, давая нам псевдонеограниченные возможности и толкая на экстенсивный путь развития. Не хватает памяти – что за проблема, – добавим. Не хватает времени – увеличим тактовую частоту, количество ядер, виртуализируем ресурсы, наконец.

Эта позиция многие годы «паровозом» тащила за собой развитие информационных технологий. Емкость обычных локальных дисков, например, за два десятилетия выросла от десятков килобайт до сотен гигабайт и часто уже измеряется терабайтами, а памяти так и не хватает. Тактовые частоты от килогерц достигли гигагерц, а производительности не хватает. Зато индустрия ИТ стала едва ли не определяющей современный уровень экономического развития. Гигантские суммы инвестиций – плата за технический прогресс и универсальность решений.

На машине Тьюринга [1] можно моделировать любую другую вычислительную машину (любого «исполнителя») – поэтому говорят о полноте машины Тьюринга.

С указанными выше ограничениями (конечность памяти) на универсальной машине (УМ) можно, в свою очередь, моделировать машину Тьюринга. Такие УМ называют полными по Тьюрингу (Turing complete).

Полные по Тьюрингу УМ, таким образом, как минимум должны выполнять элементарные операции, свойственные машине Тьюринга, а именно: перемещать управляющее устройство (головка чтения-записи) влево и вправо по ленте, читать и записывать в ячейки символы некоторого конечного алфавита. Линейность памяти и последовательность выполнения операций – базовые характеристики машины Тьюринга.

Универсальная машина потенциально может самообучаться, достигая уровня, при котором человек, ведущий беседу, не сможет определить, кто его собеседник – человек или компьютер (тест Тьюринга). Конечно, это блестящие перспективы, само существование которых делает необычайно привлекательной сферу компьютерных технологий!

Но всегда ли возможность самообучения является плюсом? Серьезные опасения, например, может вызвать возможность бесконтрольного самообучения контроллеров АСУ ТП АЭС, железнодорожного транспорта, непрерывных производств и так далее. Вряд ли эти контроллеры должны блистать интеллектом, а не абсолютно точно выполнять свои функции. Видимо, поэтому для решения таких задач применяют обычно конечные автоматы. Конечные автоматы, контекстно-свободные грамматики, примитивно-рекурсивные функции являются примерами неполных по Тьюрингу формализмов.

Таким образом, есть много задач, которые *можно* решить и не на универсальном «исполнителе». Более того, есть много задач, которые *нужно* решать не на универсальном, а на специализированном «исполнителе». Так, неотчуждаемая возможность «читать и записывать», которая делает операцию копирования в компьютере имманентной, полностью противоречит, как минимум, задачам защиты информации. Необходимое для «универсальности» свойство становится неприемлемым в конкретных условиях.

Пытаясь защититься от вредоносных хакерских программ, человечество уже более 60-ти лет разрабатывает программы, традиционно относимые к области защиты информации – средства идентификации, аутентификации, авторизации, контроля целостности, антивирусные программы, криптографические средства и так далее. Использование этих средств отчасти приносит положительный эффект, но очень и очень отчасти. Действуя в рамках пусть универсальной, но одной формальной модели, мы неизбежно натолкнемся на ее неполноту – в полном соответствии с теоремой Геделя о неполноте.

Становится очевидным, что искать уязвимости только в программном обеспечении явно недостаточно.

Действительно, если УМ выполняет любые программы, то, очевидно, она выполнит и вредоносную программу. Это не зависит от ее программного обеспечения, а определяется ее архитектурой. Универсальность компьютера обеспечивается архитектурно, самой «конструкцией» машины Тьюринга, как мыслимой в абстракции, так и реализованной на практике. Способность выполнять вредоносные программы – это базовая, системная, архитектурная уязвимость всех компьютеров, построенных как машина Тьюринга. Уязвимость – оборотная сторона универсальности. Машина Тьюринга архитектурно уязвима. Архитектурно уязвимы и все виды компьютеров, которые мы используем, потому, что они разрабатывались так, чтобы быть максимально универсальными. Этой уязвимостью мы платим за универсальность наших компьютеров. Мы эксплуатируем компьютеры, а хакеры – эксплуатируют эту уязвимость.

Поскольку архитектуру нельзя изменить программным путем, то никакие программные средства не помогут нам защититься от хакеров надежно. Игра «кто кого» продолжается уже много лет, давая работу сотням тысяч специалистов по информационной безопасности, но не спасая нас от потерь.

Как же быть?

Если уязвимость в архитектуре – то и совершенствовать нужно архитектуру.

Классическими являются две архитектуры – архитектура фон-Неймана [2] и Гарвардская архитектура [3]. Примером первой являются практически все настольные компьютеры, примером второй – практически все планшетные компьютеры и телефоны.

Компьютер, о котором пойдет речь ниже – это компьютер, архитектура которого отличается и от архитектуры фон-Неймана, и от Гарвардской архитектуры. Однако описываемый компьютер, вернее, новая, или измененная, или модифицированная архитектура – не первые отступления от классики. Рассмотрим некоторые из них.

Известны [4] принципы фон-Неймана организации вычислительного процесса, а именно:

П1. Использование двоичной системы счисления в вычислительных машинах.

П2. Программное управление ЭВМ. Работа ЭВМ контролируется программой, состоящей из набора команд. Команды выполняются последовательно.

П3. Память компьютера используется не только для хранения данных, но и программ. При этом и команды программы и данные кодируются в двоичной системе счисления, т. е. их способ записи одинаков. Поэтому в определенных ситуациях над командами можно выполнять те же действия, что и над данными.

П4. Ячейки памяти ЭВМ имеют адреса, которые последовательно пронумерованы. В любой момент можно обратиться к любой ячейке памяти по ее адресу.

П5. Возможность условного перехода в процессе выполнения программы. Несмотря на то, что команды выполняются последовательно, в программах можно реализовать возможность перехода к любому участку кода.

Анализ истории развития вычислительной техники показывает, что большинство из этих принципов неоднократно нарушались, что зачастую давало неожиданные положительные результаты. Рассмотрим некоторые исторические примеры.

В 1958 году под руководством Н. П. Брусенцова был разработан опытный образец ЭВМ «Сетунь» [5], а в 1961 году она была запущена в серию.

Особенностью вычислительной машины «Сетунь» было использование троичной системы счисления с коэффициентами (1, 0, -1). Главное преимущество троичного представления чисел перед фон-неймановским (двоичным) представлением состоит в том, что с тремя цифрами возможно естественное представление натурального ряда чисел со знаком.

В любой системе с нечетным числом цифр можно создать «симметричную» систему чисел со знаком. Троичная система самая простая для технической реализации из систем с нечетным числом цифр. При этом особенности вычислений дают ощутимое преимущество в скорости операций и их энергоемкости. Так, в троичном сумматоре перенос в следующий разряд возникает в 8 ситуациях из 27, а в двоичном – в 4 из 8. Кроме этого, упрощается операция умножения – умножение на -1 просто инвертирует множимое. Такое упрощение вычислений не исчерпало себя, и вполне можно ожидать новых решений, основанных на троичной системе счислений.

В ЭВМ «Сетунь» очевидным образом нарушен П1.

В 1967 году на выставке в Лондоне демонстрировалась ЭВМ МИР-1, которая тогда произвела фурор. Важной особенностью ЭВМ был язык высокого уровня, непосредственно исполняемый машиной.

Язык «Аналитик» представлял собой набор конструкций для описания вычислительных схем и развивался в направлении алгебраических спецификаций вычислительных схем. Разработчики [5] реализовали все стандартные рекурсивные функции, включая их в состав

языка[2]. Настоящий, завершенный язык, пригодный для описания вычислений, функций и процедур, не может состоять только из набора рекурсивных функций, и по совету академика А. А. Дородницына пришлось включить в язык оператор перехода, завершив создание языка и заодно констатировав, что простое отрицание принципов фон-Неймана не обязательно приводит к успеху. В то же время нельзя эти принципы считать догмами – например, принцип последовательного исполнения команд целесообразно исполнять только в самых простых случаях. Мультикомандный принцип зачастую дает намного более эффективные решения.

В 1974 году на конгрессе IFIP В.М. Глушков высказал мнение [6] о том, что только разработка принципиально новой не-неймановской архитектуры вычислительных систем позволит решить проблему построения супер-ЭВМ с неограниченным ростом производительности. Такие решения были найдены Глушковым и положены в основу оригинальной структуры высокопроизводительной ЭВМ, названной им макроконвейером.

Суть принципа макроконвейерной обработки данных заключается в том, что ЭВМ содержит не один, а много процессоров, и каждому процессору на очередном шаге вычислений дается такое задание, которое позволяет ему длительное время работать автономно без взаимодействия с другими процессорами.

Исполняемый язык высокого уровня, принцип макроконвейерной обработки нарушают принципы фон-

[2] Здесь уже проявилась ориентация авторов на «последовательный отказ от хорошо известных принципов фон-Неймана», в частности, это касается принципа максимальной простоты системы команд. Естественно, аппаратная интерпретация языка высокого уровня требовала ощутимой динамической «перестройки» ЭВМ в процессе исполнения задач.

Неймана (П2, П3), что не мешает решениям быть эффективными.

Эти идеи не пропали и позднее были использованы в макроконвейерных многостековых сопроцессорах безопасности Аккорд-КПД и Аккорд-СБ [7].

Они использовались в организациях кредитно-финансовой системы страны для того, чтобы в огромном потоке финансовых документов каждый из них был «подписан» в процессе создания и проверен на всех этапах обработки. Устанавливались они в большие быстродействующие ЭВМ, и основной задачей было добиться высокой производительности и линейного ее увеличения при установке нескольких сопроцессоров, при этом не занимая ресурсов основной ЭВМ, которая решала функциональные задачи. Шина при этом была довольно медленной. Вот здесь и пригодился принцип макроконвейера – вначале загружалась задача, перестраивалась архитектура вычислителя, потом отправлялась пачка данных, и пока они обрабатывались – в стек загружались следующие данные.

Рис. 1. Аккорд-СБ

В 1961 году Burroughs Corporation [8] выпустила двухпроцессорный компьютер с виртуальной памятью B5000, уникальными для своего времени особенностями которого были, в частности, адресация на основе дескрипторов, а также использование языка высокого уровня (Алгол) как входного языка, как и ранее в ЭВМ «МИР».

При дескрипторной (теговой) организации памяти каждое слово содержит не только информационную, но и управляющую часть – тег элемента. Использование тегов позволяет резко снизить количество ошибок, выбирая (ограничивая) перед исполнением нужный вариант операции и контролируя операнды. При такой организации «лампольсины» никогда не произведутся, так как невозможно сложение «лампочек» и «апельсинов». Нарушение принципов П2 и П3 дает положительный эффект.

Идеи, заложенные в ЭВМ B5000 и МИР, принципиально важны. Впервые был опробован механизм динамического изменения структуры ЭВМ в соответствии с исполняемой программой и показано, что при разработке ЭВМ необходимо понимать, какие программы будут на ней исполняться. И обратное – создавая программное обеспечение, необходимо понимать архитектуру компьютера.

Использование Алгола в качестве управляющего языка и теговая организация памяти впоследствии стали также отличительными признаками ЭВМ «Эльбрус», которая разрабатывалась коллективом академика В. С. Бурцева.

Вот что говорил по этому поводу Всеволод Сергеевич [9]: «При решении сложных задач возникает проблема быстрого перераспределения вычислительных ресурсов и коммутации информационных потоков. Из-за этого эффективность использования одного процессора снижается до уровня 5–10 % и

ниже. Все это происходит потому, что по-прежнему применяется фон-неймановская схема вычислительного процесса.

Нам удалось уйти от фон-неймановской структуры обработки информации – в нашей машине отдельные операции, даже скалярные на определенном интервале времени, могут выполняться независимо одна от другой. Вычислительные ресурсы распределяются аппаратно».

В 1972–1975 гг. в ИПУ РАН под руководством академика Прангишвили Ивери Варламовича была разработана многопроцессорная машина с одним потоком команд и многими потоками данных – ПС-2000 [10]. Управление состоянием ПС-2000 осуществлялось с помощью ЭВМ СМ-2М.

Уже в то время говорили, что аббревиатура ПС в названии комплекса означает «перестраиваемые структуры».

Дальнейшим развитием этих идей стала машина ПС-3000, в которой в полной мере были реализованы идеи динамической перестраиваемости структуры. Серийный выпуск этой машины был начат в 1979 году.

Основными архитектурными и структурными принципами организации МВК ПС-3000 [11] являются: динамическая перестраиваемость его структуры по текущим требованиям параллельных вычислительных процессов. Перераспределение ресурсов осуществлялось как программно, так и аппаратно, оптимизируя структуру комплекса под текущую задачу.

Эти и многие другие примеры показывают, что принципы организации вычислительного процесса по фон-Нейману – не догмы, и они многократно ставились под сомнение ведущими мировыми разработчиками, и часто незашоренный подход давал положительные результаты, хотя эксперименты обходились недешево. Верно и обратное – ориентация на универсализм (организация вычислительного

процесса по принципам фон-Неймана) на предыдущем этапе развития техники дала мощный импульс информационным технологиям, но одновременно надолго остановила продуктивные исследования в области компьютерных архитектур.

В последние годы техника совершила огромный скачок вперед. Но это почти никак не отразилось на архитектурах компьютеров. Наиболее заметное здесь изменение – опережающий рост решений на базе Гарвардской архитектуры. Если несколько лет назад объемы продаваемых процессоров типов x86 и ARM соотносились как 80:20, то уже сегодня 50:50, и эта тенденция усиливается[3]. Сложились условия для размышлений над усовершенствованием архитектуры.

При разработке компьютера главное – понять, какая часть функций должна быть реализована аппаратно, а какая – программно. Правильный выбор этого соотношения позволил ПЭВМ с архитектурой фон-Неймана многие годы занимать лидирующее положение. Однако сейчас практически достигнут предел эффективности данного технического решения, и для совершенствования компьютеров нужно устранить имеющиеся уязвимости. В аппаратную часть нужно включать то, что снижает стоимость, редко изменяется, расширяет возможности и используется постоянно. Кроме этого, сейчас совсем не выглядит экзотической мысль о том, что в процессе работы структура компьютера может динамически изменяться. Или, например, структура вначале может быть такой, как конечный автомат, а потом, на следующем этапе, стать «универсальным исполнителем» по Тьюрингу.

[3] Оценка дана акад. Б. А. Бабаяном (INTEL) в беседе с автором, июнь 2015 г.

Отличительной особенностью архитектуры фон-Неймана является то, что команды и данные не разделяются, они передаются по единому общему каналу.

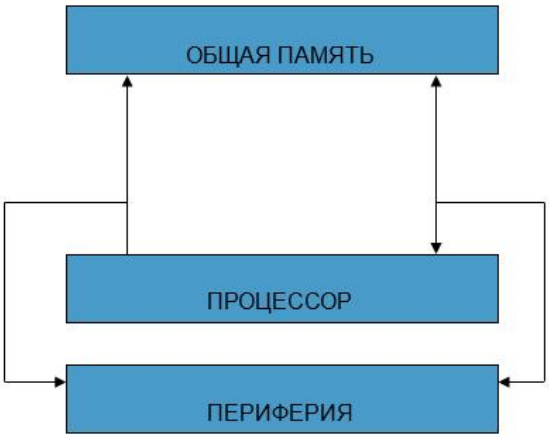


Рис. 2. Архитектура фон-Неймана

Гарвардская архитектура предполагает наличие разных каналов для команд и данных.

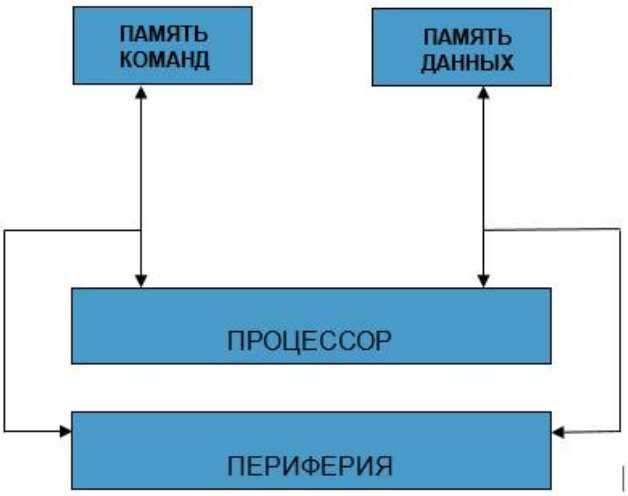


Рис. 3. Гарвардская архитектура

Такая схема взаимодействия требует более сложной организации процессора, но обеспечивает более высокое быстродействие, так как потоки команд и данных становятся не последовательными, а параллельными, независимыми.

Однако, и в случае компьютера фон-неймановского типа, и компьютера с Гарвардской архитектурой организация

потоков команд и данных такова, что архитектурная уязвимость присуща каждому из них. Гибкость, универсальность и в одном, и в другом случае обеспечивается возможностью изменения последовательности команд и данных (двунаправленные стрелки от процессора к памяти) – независимо от того, в одной памяти они лежат, или разделены. В свою очередь, возможность изменения последовательности команд и данных создает и возможность для несанкционированного вмешательства вредоносного программного обеспечения – это и есть основная архитектурная уязвимость.

На использовании этой уязвимости основаны практически все современные хакерские атаки, которые, в основном, сводятся к атаке на «перехват управления». Схема атаки обычно выглядит так:

s1) внедряется и размещается в оперативной памяти вредоносное ПО (ВрПО);

s2) внедряется и размещается в оперативной памяти вредоносный обработчик прерываний;

s3) записывается в долговременную память ВрПО и обработчик прерываний;

s4) с помощью любого доступного механизма вызывается прерывание – например, с помощью DDOS-атаки;

s5) внедренный ранее обработчик прерываний срабатывает и передает управление ВрПО;

s6) ВрПО выполняет свою функцию, например, реализует разрушающее программное воздействие (РПВ).

Здесь s1 – s3 – это шаги по подготовке атаки, s4 – инициирование атаки, s5 и s6 – собственно использование архитектурной уязвимости.

Для того чтобы обезвредить шаги s1 и s2, обычно используются антивирусные программы. Иногда это бывает полезным, но только иногда – невозможно с помощью антивирусных программ выявить все ВрПО. Более того – специалистам известны конструкции ВрПО, которые точно нельзя обнаружить. Можно даже сказать, что компьютерные вирусы и в целом ВрПО удается обнаружить только в силу их несовершенства. В общем случае всегда можно разработать такое ВрПО, которое не может быть обнаружено с помощью антивирусных программ сигнатурного поиска, эвристических анализаторов и поведенческих блокираторов.

Блокирование последствий выполнения шага s3 выполняется при последующей загрузке с помощью механизмов контроля целостности – по сути, ревизоров, определяющих, есть ли изменения в составе данных; иногда эта проверка выполняется с помощью тех же наборов антивирусных программ – но это слабое решение, так как проверка должна выполняться до загрузки ОС, а программы, в том числе и антивирусные, работают под управлением ОС.

Генерация события на шаге s4 частично блокируется с помощью специальных средств анализа трафика, устанавливаемых как в сети, так и на клиентских компьютерах. Важно то, что пока нет средств, позволяющих гарантированно блокировать эту уязвимость.

Негативные последствия шагов s5 и s6 блокируются с помощью механизмов контроля запуска задач (процессов, потоков). Это очень эффективные механизмы, но реализующие их средства довольно дорогие и для их настройки нужно быть специалистом в компьютерных технологиях и информационной безопасности.

Поскольку некоторые из перечисленных функций безопасности должны выполняться до загрузки операционной

системы, то реализовать их можно только с помощью сложного устройства и нельзя реализовать программно.

Примером такого устройства является СЗИ НСД «Аккорд» [12].

Это аппаратный модуль доверенной загрузки с программным комплексом разграничения доступа. Он выполняет все необходимые контрольные функции, его программная часть контролирует, в частности, и запуск задач. «Аккорд» предназначен для работы на компьютерах с процессором x86. Напомним, что архитектура таких компьютеров очень близка к классической архитектуре фон-неймановского типа.

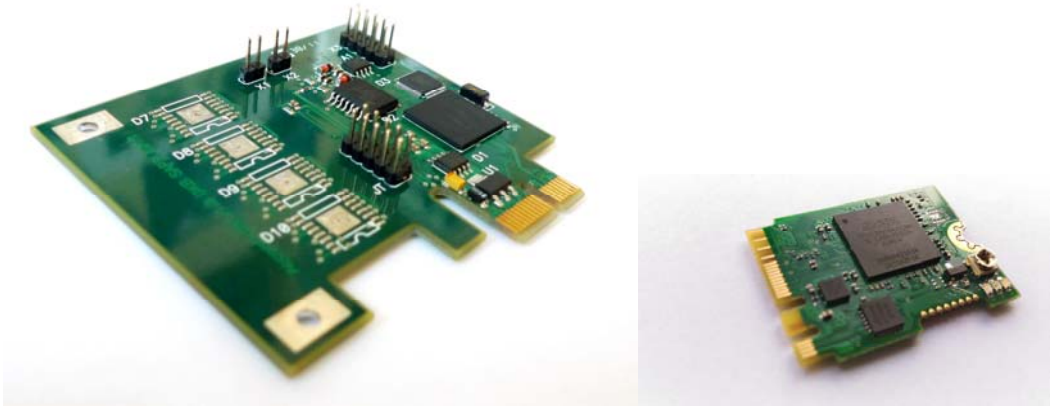


Рис. 4. СЗИ НСД Аккорд-GX, Аккорд-GXm.2

Эффективность СЗИ НСД «Аккорд» связана с тем, что он блокирует уязвимости, связанные с нарушением целостности, и создает доверенную среду для работы программных средств, обеспечивающих защиту компьютера на шагах s1 – s6.

Несмотря на большую распространенность, цена СЗИ НСД «Аккорд» довольно высока, и его настройка – дело для профессионалов. Конечно, он лучшее решение для корпоративных применений, но, видимо, слишком сложен для частного применения. Сложность его связана именно с фон-неймановской архитектурой защищаемого компьютера – нужно добавить неизменяемую память, разделить потоки

команд и данных, исполнить контрольные процедуры в доверенной среде до запуска ОС – и многое другое.

Однако, в компьютерах, использующих Гарвардскую архитектуру, потоки команд и данных уже разделены. Если это так, то нельзя ли это обстоятельство использовать для упрощения и удешевления защитных механизмов? Нужно только сделать память неизменяемой (тогда нет необходимости использовать сложные механизмы контроля целостности программ и данных до старта ОС), а контрольные процедуры в этом случае можно исполнять под управлением проверенной и неизменяемой ОС.

Эти функции легко реализовать, если обеспечить движение команд и данных только в одном направлении – из памяти в процессор.

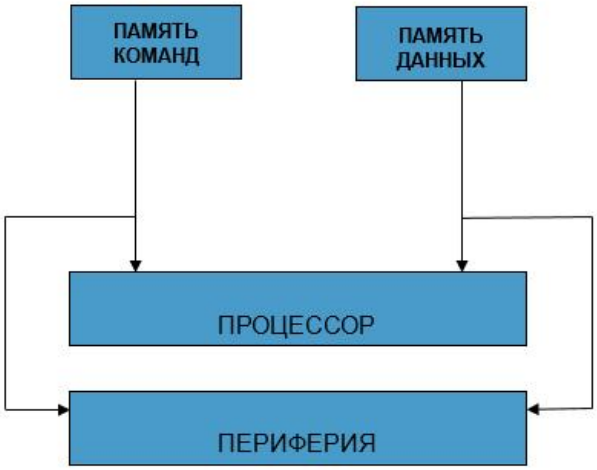


Рис. 5. Гарвардская архитектура с памятью RO

Очевидно, что такая архитектура обеспечит неизменность ОС, программ и данных.

Если вернуться при этом к схеме атаки, описанной выше, то видно, что шаг s3 не может быть выполнен, поэтому и сама атака (шаги s5 и s6) тоже не исполнится. Такой компьютер приобретет значительный «вирусный иммунитет», так как вредоносное ПО не будет фиксироваться на компьютере.

Недостатком при этом будет то, что придется дорабатывать практически все программное обеспечение, так как разработчики существующего ПО не ограничивают себя в использовании операций записи в память. Для работы практически всех программ необходима возможность записи.

Для того, чтобы можно было использовать без доработок все ранее разработанное ПО, необходимо предложенную архитектуру дополнить блоками сеансовой памяти – в которой и будут исполняться программы.

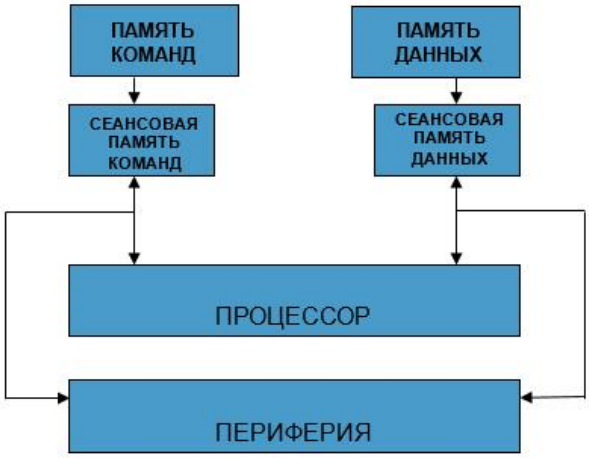


Рис. 6. Гарвардская архитектура с сеансовой памятью

Таким образом, архитектура компьютера будет отличаться на разных этапах – сначала она такая, как на рисунке 5, а потом такая, как на рисунке 6. Фактически, архитектура изменяется от этапа начальной загрузки к этапу функционирования. Совмещая рисунки, получаем изменяемую архитектуру гарвардского типа.

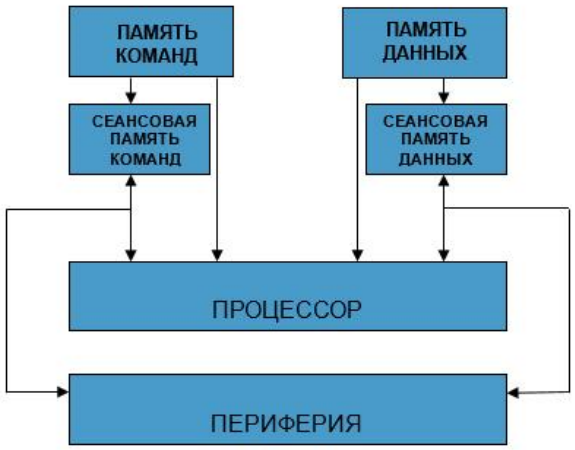


Рис. 7. Новая гарвардская архитектура

Предложенная нами архитектура получила название «Новая гарвардская» архитектура. Она отличается тем, что в ней используется память, для которой установлен режим «только чтение». При загрузке команды и данные размещаются в сеансовой памяти, в которой и исполняются. Начальная загрузка и копирование кодов в сеансовую память могут выполняться как последовательно, так и параллельно – суть разделения этапов от этого не меняется.

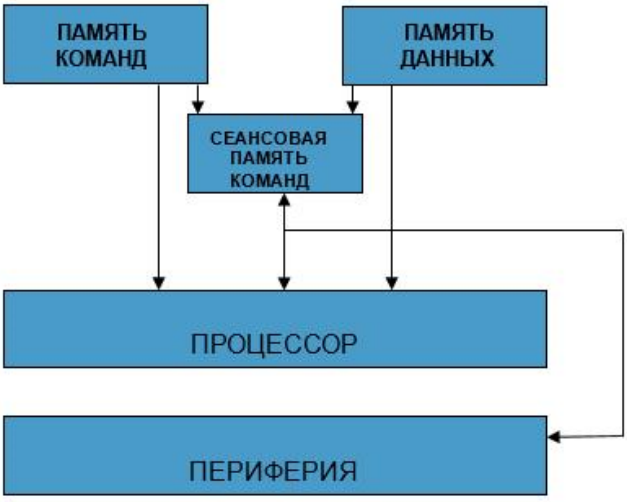


Рис. 8. Новая гарвардская архитектура с общей сеансовой памятью

Конечно, эта схема описана условно, и в реальных компьютерах все немного сложнее. Однако можно уверенно

сказать, что владельцы таких компьютеров чувствуют себя намного защищеннее от атак хакеров.

Рис. 9. Компьютер на базе Новой гарвардской архитектуры МКТ-card

Новая архитектура характеризуется динамической изменяемостью, что обеспечивает защищенность и эффективность, неизменность операционной системы, «вирусный иммунитет», и не мешает возможности применения адаптированных стандартных ОС и всего программного обеспечения, написанного для них.

В архитектуре этого компьютера мы нарушили несколько принципов фон-Неймана, и в первую очередь – П4 и П5. Действительно – П4 не выполняется, так как память команд и память данных не доступны на запись, да и нумерацию ячеек этой памяти и сеансовой памяти нельзя считать «последовательной». Ну и, естественно, условный переход возможен в пределах сеансовой памяти и невозможен в защищенной памяти – в этом нарушение принципа П5. И что же мы получили взамен?

Основных преимуществ два – высокий уровень «вирусного иммунитета» и возможность создания и

поддержки доверенной среды, возможность использовать все ранее наработанное программное обеспечение.

Важно то, что на основе описанной архитектуры можно создавать компьютеры для всех видов информационного взаимодействия, при которых доверенность и защищенность взаимодействия важна – от дистанционного банковского обслуживания (ДБО) [13] и защищенных «облаков» [14, 15] до «интернета вещей». Сейчас на основе описанной архитектуры разработаны и серийно выпускаются 7 типов компьютеров – МКТ, МКТ+, MKTrusT, MKcard, MKcard-long, AQ-MK, TrusTPAD. Их особенности описаны в [16–22], а сами компьютеры – в [23]. Разработка новых видов компьютеров продолжается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Машина Тьюринга. Википедия [электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Машина_Тьюринга.
2. Архитектура фон-Неймана. Википедия [электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Архитектура_фон_Неймана.
3. Гарвардская архитектура. Википедия [электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гарвардская_архитектура.
4. Принципы фон Неймана (архитектура фон Неймана). Планета информатики [электронный ресурс]. URL: http://www.inf1.info/machineneumann.
5. Малиновский Б. Н. История вычислительной техники в лицах. – К.: «КИТ», ПТОО «А.С.К.», 1995. – 384 с., илл.
6. Glushkov V. M., Ignatyev M. B., Myasnikov V. A., Torgashev V. A. Recursive Machines and Computing Technology. IFIP Congress 1974: 65-70.
7. Музей. ОКБ САПР [электронный ресурс]. URL: http://www.okbsapr.ru/dosug.html.
8. Burroughs. Википедия [электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Burroughs_Corporation.
9. Бурцев В. С. СуперЭВМ в России. История и перспективы // НТБ. 2000. № 4. С. 5–9.
10. Многопроцессорная вычислительная система ПС-2000. Виртуальный компьютерный музей [электронный ресурс]. URL: http://www.computer-museum.ru/histussr/11-1.htm.
11. Многопроцессорная вычислительная система ПС-3000. Домашнее радио (страничка радиолюбителя) [электронный ресурс]. URL: http://housea.ru/index.php/computer/50255.
12. Конявский В. А. Управление защитой информации на базе СЗИ НСД «Аккорд». – М.: Радио и связь, 1999. – 325 с., илл.
13. Конявский В. А. Защищенный микрокомпьютер МК-TRUST – новое решение для ДБО. Национальный банковский журнал. М., 2014. № 3 (март).

14. Конявский В. А., Акаткин Ю. М. Мы не доверяем облаку или облако нам? Information Security/Информационная безопасность. М., 2014. № 1.
15. Акаткин Ю. М., Конявский В. А. Безопасный доступ к корпоративным облачным приложениям. Information Security/Информационная безопасность. М., 2014. № 1.
16. Конявский В. А., Степанов В. Б. Компьютер типа «тонкий клиент» с аппаратной защитой данных: Патент на полезную модель № 118773. 27.07.12. Бюл. № 21.
17. Конявский В. А. Компьютер с аппаратной защитой данных от несанкционированного изменения: Патент на полезную модель № 137626. 20.02.2014. Бюл. № 5.
18. Конявский В. А. Мобильный компьютер с аппаратной защитой доверенной операционной системы: Патент на полезную модель № 138562. 20.03.2014. Бюл. № 8.
19. Конявский В. А. Мобильный компьютер с аппаратной защитой доверенной операционной системы от несанкционированных изменений: Патент на полезную модель № 139532. 20.04.2014. Бюл. № 11.
20. Конявский В. А. Мобильный компьютер с аппаратной защитой доверенной операционной системы: Патент на полезную модель № 147527. 10.11.2014. Бюл. № 31.
21. Конявский В. А., Акаткин Ю. М. Мобильный компьютер с аппаратной защитой доверенной операционной системы от несанкционированных изменений: Патент на полезную модель № 151264. 27.03.2015. Бюл. № 9.
22. Конявский В. А. Рабочая станция с аппаратной защитой данных для компьютерных сетей с клиент-серверной или терминальной архитектурой: Патент на полезную модель № 153044. 27.06.2015. Бюл. № 18.
23. Trusted Cloud Computers [электронный ресурс]. URL: http://www.trustedcloudcomputers.ru.

ТЕМА 10. НАУЧНЫЙ ДИСКУРС: ФОРМЫ И ЖАНРЫ, НАУЧНОЕ ОБЩЕНИЕ

Понятие «дискурс» сегодня является не столько термином, сколько концептом[1]. И получилось так, видимо, по целой совокупности причин, одной из важнейших в которой является серия книг В. О. Пелевина «Ампир "В"» [34] и «Бэтман Аполло» [35], где он вводит диалектическую пару «гламур и дискурс» как основу современного общества. Пожалуй, если бы в науке были приемлемы контекстные определения, именно эти книги стоило бы советовать в качестве источника понимания явления «дискурс».

Однако, безусловно, для нашего времени литературоцентричность не может серьезно претендовать на заметную роль в общественном сознании, поэтому популярность таких слов, как «дискурс» и «парадигма», все-таки нельзя связывать только с их удачным применением великими авторами. Дело еще и в том, что стоящие за этими словами понятия действительно концептуальны и крайне современны, несмотря на то, что оба слова родом из латыни и имеют соответствующий возраст.

Научные же определения дискурса – среди них есть и плохие, и хорошие – как и должно быть, предназначены для использования в определенных отраслях знаний в рамках определенных научных направлений и парадигм, а определения «дискурса вообще» нет. Если постараться его

[1] Концепт – это такое слово или выражение, которое является знаком, указывает на какое-то специфичное для конкретной картины мира (концепт всегда связан со строго определенной картиной мира) сложное, но недискретное явление. Например, концептами являются «счастье», «Родина» и «народ», «конец света» и «второе пришествие», «чукча», «еврей» и так далее – такие слова или словосочетания, за которыми стоит нечто, что невозможно одним словом перевести иностранцу.

сгенерировать из «отраслевых» определений с привлечением контекстного определения Пелевина, то я бы предложила взять за основу лингвистическое определение Виктории Владимировны Красных: «дискурс есть вербализованная речемыслительная деятельность, понимаемая как совокупность процесса и результата и обладающая как собственно лингвистическим, так и экстралингвистическим планами» [36. С. 200].

Поскольку определение это может звучать для специалиста по защите информации пугающе за счет «гуманитарных» слов, имеет смысл привести чуть более широкий контекст, делающий очевидным, что любое научным образом сформулированное понятие равно постигаемо специалистами разных дисциплин. Итак, «При рассмотрении дискурса с точки зрения *результата* он (дискурс) предстает как совокупность текстов, порожденных в процессе коммуникации. При анализе дискурса как *процесса* дискурс представляет собой вербализуемую (“здесь и сейчас”) речемыслительную деятельность. В силу только что сказанного в нашей дефиниции дискурса использована форма “*вербализованная*” деятельность. Дискурс имеет 2 плана – собственно лингвистический и лингво-когнитивный. Первый связан с языком, манифестирует себя в используемых языковых средствах и проявляется в совокупности порожденных текстов (дискурс как результат). Второй связан с языковым сознанием, обусловливает выбор языковых средств, влияет на порождение (и восприятие) текстов, проявляясь в контексте и пресуппозиции (дискурс как процесс)» [Там же. С. 200–201].

Упрощая все «страшные» слова, получим, что «дискурс как результат» – это класс текстов, характеризующихся одинаковыми экстралингвистическими и связанными с ними лингвистическими особенностями, и, соответственно, сами «дискурсообразующие» признаки, а «дискурс как процесс» – это порождение «дискурса как результата» – начиная от построения мысли и заканчивая коммуникативным актом.

Теперь, убрав отсюда тексты (поскольку дискурс может характеризовать не только то, что в обыденном понимании называется «текст», но и разного рода синтетические произведения коммуникативного характера – то, что принято называть performance и пр.) и добавив ключевую

функциональную характеристику дискурса по Пелевину – дискурс задает границы, получим примерно следующее. Дискурс – это класс объектов, характеризующийся одинаковыми содержательными и связанными с ними формальными особенностями, включающий в себя все типы разнородных объектов, способные характеризоваться указанными особенностями, а также процесс их порождения и сами «дискурсообразующие» признаки, позволяющие определять границы класса.

Самое важное в этом определении – то, что дискурс – это не объекты класса, а класс объектов. Ни один из объектов класса не является дискурсом – дискурсом является сам класс.

Объекты могут к дискурсу относиться, могут ему соответствовать, нести его признаки, но вот сказать, что объекты в дискурс входят, – не совсем верно, хотя ясно объяснить эту тонкость при недостаточной степени теоретической проработки понятия «дискурс» достаточно затруднительно.

Обратимся, собственно, к интересующему нас научному дискурсу.

К нему будут относиться и корпус научных текстов, и совокупность научных методов и исследовательских процедур, и установленные формы научного общения, традиции и обычаи научного сообщества, схемы рассуждений и построения изложения результатов, базовая аксиоматика и корпус обязательных знаний, наконец, научный функциональный стиль языка (строго говоря, речи, а не языка, конечно).

Это значит, что, например, незнание каких-то общепризнанных научных фактов (что выдает недостаточность работы с литературой) или рассуждение, в котором данные не сопровождаются ссылками на их источник либо сами рассуждения ведутся с нарушением принятых методов и приемов, выводят рассуждение за рамки научного дискурса, даже если оно оформлено в научном функциональном стиле. Напротив, ссылки – как явные, так и скрытые, контекстные – на авторитетные исследования маркируют текст правильным образом, это проявление уже хорошо знакомого требования «совместимости» исследования. Напомню, что совместимость –

это не только следование за кем-то, но и опровержение ранее сделанного или утверждаемого. Это уже рассматривалось в темах «Обоснование», «Экспериментальная часть исследования» и еще будет подробно рассматриваться в разделе «Научная полемика» этой темы.

Хорошей демонстрацией погруженности в научный дискурс, особенно для квалификационной работы, будет явное, «артикулированное» применение классических научных методов и приемов рассуждений – принципов индукции, строгой аналогии (с этими приемами рассуждений вы познакомились в теме «Обоснование»), доказательства от противного, метода правдоподобных рассуждений (с этими методами вы познакомились в теме «Методология, метод, методика, направление»), математического (или иного) моделирования (пример его применения в исследовании по защите информации вы видели в теме «О некоторых специфических методах и приемах при постановке эксперимента»). «Артикулированное» применение – это такое, которое обнаруживается в тексте без усилий. Этого можно добиться разными способами – контекстными (то есть повторением каких-то прецедентных формулировок) или прямыми ссылками на первоисточник (целесообразно, если метод имеет явного автора, как Пойя или Бекон), введением этого рассуждения прямым указанием на метод *(«по методу… возьмем…»*). А вот неспособность исследователя выразить, что за метод он применил, проанализировать и вербализировать, каким путем шло его рассуждение, маркирует невладение дискурсом.

Также вне научного дискурса окажется конференция, на которой докладчикам нельзя задавать вопросы, а после докладов не предусмотрена дискуссия. Соответственно, вне научного дискурса находится поведение докладчика, уходящий после своего доклада, не дожидаясь дискуссии, на которой к нему, возможно, кто-то хотел бы обратиться.

В рамках этой темы целесообразно остановиться на тех составляющих дискурса, которые еще не были подробно освещены в других темах, – на построении и оформлении научного текста и на общих минимально необходимых

сведениях о формах научного общения и свойственных им правилах и обычаях.

Построение научного текста

Тому, как строить научные тексты, так или иначе посвящены все темы курса по основам научных исследований, поэтому здесь остановимся на научном функциональном стиле и композиционных особенностях научных текстов наиболее распространенных жанров.

Из курса прикладной риторики [Конявская] мы помним, что работа над речью состоит из 5 шагов: изобретение, расположение, выражение, память, действие.

Конявская С. В. Прикладная риторика для специалистов по защите информации. С. 77–78.

Изобретение – это создание высказывания на уровне замысла.

Вкратце происходит это так: обнаруживаем *проблему*, определяем, *о чем* пойдет речь (то есть исключаем из всего, что входит в проблему, то, о чем мы в данном случае говорить не станем), генерируем *идею* высказывания как ход решения проблемы, формируем *предложение* для данной аудитории, находим *аргументы*, определяем *содержание* высказывания.

Таким образом высказывание приобретает смысловую завершенность, замысел становится целесообразным.

Расположение – это создание высказывания на уровне композиции.

Это разработка речи с точки зрения понимания и оценки слушателем: выделяем смысловые части высказывания и определяем их последовательность, обусловленную замыслом.

Выражение – это создание высказывания на уровне текста.

На этом этапе происходят отбор, оценка и согласование языковых средств. Иначе говоря, выработка стиля.

Память – это отработка наиболее выигрышных приемов непосредственного убеждения.

На этом этапе составляется план-конспект речи или прочие вспомогательные материалы, определяются пределы возможной импровизации, оттачиваются и выучиваются определения и цитаты, репетируются наиболее важные и эффектные приемы.

Действие – непосредственное произнесение речи, создание высказывания как события.

Сюда относятся интонирование, постановка голоса, мимика, жесты, движение или неподвижность и т. п.

Два последних шага производятся исследователем, конечно, в том случае, когда предполагается выступление, если же текст предназначен исключительно для чтения, то он готов уже после осуществления шага «выражение».

Особенности первых двух шагов – «изобретения» и «расположения» – в научном дискурсе определяются очень существенным отличием жанровых форм научных текстов друг от друга. В научно-исследовательских и квалификационных работах «расположение» жестко диктуется установленной формой текста, а «изобретение» представляет собой длительный исследовательский процесс, поэтому несмотря на то, что в корректно построенном реферате, НИР или дипломе с легкостью обнаруживаются компоненты схем «изобретения» и «расположения», сам процесс написания этих работ не строится по правилам риторики (так же, как не строится по ним, например, процесс написания заявления – любая жесткая форма диктует в первую очередь свои собственные правила).

А вот в таких жанрах, как статья, доклад, даже монография, то есть тогда, когда представление материала не носит характера отчета или квалификационной работы, а носит характер произведения словесности, ориентация на риторические приемы вполне уместна и методически удобна.

Подробнее остановимся на этом на примере научных статей и докладов как задачи, самой близкой к чисто риторической, в разделе «Научное общение» этой темы. Здесь же стоит ограничиться напоминанием основных положений, касающихся шагов «изобретение» и «расположение», а также их параллелями в НИР и дипломах.

На этапе «изобретения» мы формулируем главную мысль речи – предложение – в виде грамматически связного и полного предложения на русском языке, достаточного для того, чтобы путем развертывания его смысловых частей получить поле аргументации. Из этого поля мы выбираем самый сильный довод, который наиболее тесно связан с предложением и который можно привести к топосу (общему месту, ценностному высказыванию, воспринимаемому в данной культуре как истинное). Очевидно, что эта схема очень похожа на содержательную структуру НИР.

Главная мысль (предложение) – гипотеза – формулируется так, чтобы содержать все необходимые для развертывания смысловые элементы, главный довод (положение) – как правило, результат эксперимента – сводится с общими местами (топосами) путем выведения постановки эксперимента из реферативной части.

Схема же «расположения» так же очевидно ложится на композицию НИР.

Конявская С. В. Прикладная риторика для специалистов по защите информации. С. 86–87.

Схема расположения частей высказывания

I. Во ВСТУПЛЕНИИ ритор

1) представляет ***себя*** и ***основания*** своего обращения к аудитории;

2) высказывает свою позицию – ***предложение***, которое связано в ***тезу*** с ***положением*** речи, чтобы аудитория сразу могла представить себе, *что* (предложение) и *на каком основании* (положение) ей предлагают;

3) в ***разделении*** ритор указывает состав и последовательность главных моментов содержания, чтобы аудитория могла сразу охватить образ предмета речи (это нужно в том случае, если речь большая по объему и сложная, в противном случае разделение будет выглядеть искусственно и неуместно).

II. В ОСНОВНОЙ ЧАСТИ ритор

1) ***излагает*** фактический материал, *описывая* предмет и *повествуя* о событиях;

2) на основе изложения фактов переходит к ***обоснованию*** предложения доводами *рассуждения*, сводя или разводя **факты** с **нормами** в соответствии с положением речи;

3) изложив факты, обосновав предложение и ясно сформулировав свою позицию, переходит к ***опровержению несовместимого*** – критике и опровержению высказываний и позиций, не совместимых с тезой (очень важно иметь в виду, что опровержение будет эффективным только в том случае, если четко определены предпосылки критики).

III. В ЗАКЛЮЧЕНИИ ритор:

1) делает ***обобщение*** или ***выводы***,

2) на основании обобщения и выводов ***побуждает*** аудиторию принять предлагаемое решение.

Актуальность и новизна исследования являются *представлением* ритора и *основанием* его обращения к аудитории с этой темой (актуальность обосновывает, почему *именно об этом* пойдет речь, а новизна – *почему именно этот автор* (потому что ему удалось получить некий новый результат)). Не всегда во введении формулируются результаты исследования (*предложение и положение*), хотя в классической структуре квалификационной работы есть «*положения, выносимые на защиту*». В то же время могут быть ситуации, особенно это вероятно для отчета по НИР, в которых результаты трудно сформулировать кратко до изложения основного материала исследования. Однако обязательно во введении формулируются *проблема*, *цель и задачи* исследования, что по существу является контурным, но ясным ответом на вопрос «какова *главная мысль* этого текста?»

Остальные части вызывают еще меньше вопросов. *Структура (композиция) работы* является обязательной частью введения, и именно она его завершает.

Заключение научного исследования обязательно должно содержать и *обобщение*, и *выводы*. Исключением может быть ситуация, когда исследование не дало результатов, на основании которых можно сделать уверенные выводы. В этом случае часть «*побуждение*» будет представлять собой предложение подхода по развитию исследования в направлении все же получения данных, достаточных для вывода. Ту же функцию выполняют описание перспектив исследования и областей применения результатов, которые завершают квалификационную работу и отчет по НИР. В этой части исследователь делает не что иное, как побуждает к принятию своего предложения, об этом надо помнить при работе над этим текстом – потенциальный предмет присоединения научной общественности должен выглядеть для нее привлекательно.

Несколько более подробного рассмотрения заслуживает соотношение со схемой риторического расположения основной части исследования. В классической схеме речи основная часть строится так: *изложение* некоторого фактического материала, *обоснование* своей позиции на основании изложенного

материала, а затем – *опровержение* несовместимой позиции. Как мы уже разбирали раньше, в научных работах эта логика претерпевает некоторое изменение: сначала излагаются *история вопроса* и его текущее состояние (эта часть называется обычно «Степень разработанности проблемы»), затем приводятся собственные, в том числе и экспериментальные, выкладки исследователя. При этом как фактический материал, так и опровержение несовместимых теорий и утверждений может быть как в одной, так и в другой части. Это связано с двумя основными причинами:

1) Работа отчетного характера (НИР, квалификационная работа) должна отражать не только результат, но и ход исследования;

2) Работы этих жанров имеют большой объем, публичное выступление в классическом (да и ни в каком другом, пожалуй) смысле слова просто не может быть рассчитано на несколько часов (а 100 страниц – это 3,5 часа непрерывного говорения хорошим темпом). Вполне естественно, что воспринимается такое объемное произведение частями, эти части должны, безусловно, быть связаны, и связаны явно, но также они должны иметь композиционную и смысловую законченность, а желательно и достаточно явную членимость, потому что ожидать от читателя восприятия всего текста сразу как целого – не всегда целесообразно. Поэтому порядок «*изложение – объяснение – опровержение несовместимого*» лучше применять в рамках более дробных частей основной части исследования, а не как композицию всей этой части целиком.

В то же время правила расположения доводов *обоснования* и *опровержения* (*гомерический порядок, хрия прямая и обратная*) – полностью применимы и крайне целесообразны к применению в квалификационных работах, так как убедить в своей правоте – одна из задач исследователя.

Оформление научного текста

Несколько слов необходимо сказать о понятии «факт», которое для научного дискурса является прецедентным, но крайне слабо детерминированным. Слово «факт» крайне

употребимо и в то же время крайне многозначно. Это порождает массу разногласий и даже конфликтов, которых можно было бы избежать, договорившись о его значении. В учебнике по риторике, определяя судительный тип аргументации как аргументацию о фактах, я, следуя русской риторической традиции, определяю факт как событие, имевшее место в прошлом.

Основание для присвоения именно такого значения слову «факт» я вижу в том, что только то, что уже произошло, может быть надежно зафиксировано, становится фактом и уже не может измениться. Этот компонент значения – завершенность в прошлом, невозможность изменения, постоянство – отличает факт от рассуждения и вывода, пусть даже неопровержимо доказанных и верных, от принципа или закона, от характеристики чего-либо, пусть даже надежно инструментально зафиксированных и многократно проверенных, – так как все это теоретически может измениться, если изменятся какие-то смежные обстоятельства. То, что произошло, уже не изменится, даже если впредь аналогичный процесс будет протекать совершенно иначе.

Косвенной уликой в пользу справедливости именно такой трактовки является прямой перевод *fact-* – это основа супина от *facio* – (*лат.*) «делаю», то есть факт – это *сделанное*.

Вместе с тем в научном дискурсе такое значение слова «факт» отнюдь не является преобладающим, хотя именно неизменность, зафиксированность, своего рода «надежность» – это как раз те семантические компоненты, которые вкладывают исследователи в выражения «научный факт», «установленный факт».

Вот как описана ситуация со значениями этого слова в книге Морриса Р. Коэна и Эрнеста Нагеля «Введение в логику и научный метод».

Коэн М. Р., Нагель Э. Введение в логику и научный метод. С. 285–287.

Факты

Нам необходимо различать смыслы, которыми обладает термин «факт». С помощью него обозначаются, по крайней мере, четыре различные вещи.

1. Иногда, используя термин «факты», мы имеем в виду некоторые элементы, выделенные из чувственного восприятия. Факты в таком понимании обозначаются следующими выражениями: «этот диапазон света расположен между теми двумя диапазонами», «конец этой указки совпадает с той точкой на шкале». Однако следует обратить внимание на то, что никакое исследование не может начаться с фактов, определяемых таким образом. В чувственных данных мы аналитически выискиваем подобные элементы, для того чтобы обнаружить достоверные признаки, которые позволят нам проверить выведенные нами следствия. В конечном счете в любом наблюдении имеет место апелляция к определенным элементам, вычленяемым из чувственного опыта. Мы ищем подобные элементы, поскольку относительно них можно достигнуть всеобщего согласия с другими людьми.

2. Термин «факт» иногда обозначает суждения, которые интерпретируют то, что нам дано в чувственном опыте. «Это зеркало», «это звонок к обеду», «этот кусок золота является ковким» – все это обозначения фактов, понимаемых в данном смысле. В любом исследовании приходится принимать ряд подобных фактов в качестве изначальной данности. Это, однако, не означает, что в ходе исследования мы не можем признать ложными некоторые из них.

3. Термином «факт» также обозначаются суждения, которые истинно утверждают неизменное следование или конъюнкцию характеристик. В этом смысле фактами будут такие суждения, как «всякое золото является ковким», «вода замерзает при нуле градусов по Цельсию», «опиум обладает снотворным эффектом». Однако при этом «женщина непостоянна» не будет считаться фактом в этом смысле. Последний пример в лучшем случае будет указывать на спорный факт. То, что считается фактом в этом смысле или даже во втором из перечисленных смыслов, явно зависит от оснований, которые нам удалось аккумулировать, т. е., в конечном счете, от фактов, понимаемых в первом смысле, вместе с некоторыми подразумеваемыми между ними универсальными связями. Было время, когда суждение «Земля является круглой» не имело известных оснований в свою поддержку; позднее оно было использовано в качестве гипотезы, с тем чтобы обусловить целый ряд непосредственно наблюдаемых событий; сегодня данное суждение рассматривается как факт, поскольку если мы усомнимся в нем, то тогда нам придется усомниться и в других составных элементах нашего знания.

4. Наконец, термином «факт» обозначаются вещи, существующие в пространстве и времени, и отношения между ними, в силу которых суждения становятся истинными. Факты в данном смысле не являются ни истинными, ни ложными. Они просто существуют и могут осознаваться нами частично посредством чувственного восприятия. Они могут длиться во времени, могут сталкиваться друг с другом, уничтожать друг друга, расти и исчезать. Также они могут быть неизменными. Факты в этом четвертом смысле отличаются от гипотез, их объясняющих. Гипотеза является истинной и является фактом во втором или

третьем смысле, когда в ней утверждается то, чем является факт в четвертом смысле. Следовательно, различие между фактом и гипотезой не является резким, если под термином «факт» понимать суждение, которое может быть истинным, но для истинности которого никогда нельзя представить окончательные основания.

В достижении фактов в четвертом смысле заключается функция гипотезы. Однако на любом уровне нашего знания данная функция выполняется лишь частично. Тем не менее, как отмечал Джозеф Пристли: «Дефектные и несовершенные теории могут послужить достаточным основанием для проведения полезных экспериментов, которые поспособствуют исправлению старых теорий и обусловят появление новых, более совершенных теорий. Эти новые теории, в свою очередь, приведут к новым экспериментам, которые еще больше приблизят нас к истине. Мы должны продвигаться в нашем исследовании, довольствуясь данным методом аппроксимации, и нам следует радоваться, если с помощью данного медленного метода нам удастся достигнуть хоть какого-то реального прогресса»[2]. <…>

[2] Priestley J. The History and Present State of Discoveries relating to Vision, Light, and Colours. 1772. P. 181.

Что же можно вынести конструктивного из этого разнообразия для лучшего владения научным дискурсом?

Представляется разумным остановиться на выполнении следующих рекомендаций:

1) Использовать выражение «установленный факт» для характеристики полученных эмпирически данных, для которых зафиксирована повторяемость в одинаковых условиях, без интерпретации этих данных.

2) Не использовать слово «факт» в отношении интерпретаций и выводов, за исключением выводов, полученных путем дедуктивного рассуждения.

3) Использовать выражение «научный факт» для обозначения прочно вошедшего в научную традицию положения или теории.

4) В остальных значениях, в которых часто (до паразитичности) используется слово «факт», особенно в обыденной речи, использовать в научном дискурсе слова с более ясно определенным значением, такие как «данные», «явления», «результаты», «эффекты», «выводы», «закономерности», «законы» и пр.

5) Не использовать паразитных выражений типа «факт в том, что».

6) В тех случаях, когда в тексте изложение фактов (или «фактического материала» – это выражение имеет еще более размытое значение) играет существенную роль, целесообразно уточнять, в каком конкретно смысле используется слово «факт», как именно отобран материал и что он собой представляет. Это поможет избежать перехода обсуждения от содержания исследования к тому, что такое «факт» и почему правильно или неправильно называть фактом одно или другое.

7) Придерживаться в рамках одного исследования (а в идеале – в рамках всех своих исследований, так как единство терминологии создает образ исследователя подобно образу ритора) одной трактовки слова «факт», и придерживаться ее строго. В случае необходимости отступления от своей трактовки при цитировании или пересказе источника – указывать на это в явной форме. Это правило, к слову, является общим для научного дискурса – в пересказе позиции других

ученых следует использовать их терминологию и при этом в случае расхождения ясно проводить границы между случаями такого контекстно обусловленного употребления терминов и собственной терминологической системой исследования.

Научный функциональный стиль

Наконец, то, что интересует начинающего исследователя больше всего в части оформления научного текста, – научный функциональный стиль языка (речи). Интерес этот не всегда в полной мере исследователем осознан, но, судя по наблюдающемуся почти в ста процентах случаев эффекту, в своих научных работах он начинает писать туманно и замысловато (либо, что пока еще все-таки реже, – языком рекламной журнальной статьи) – именно язык текста в нашем представлении наиболее явно связан с его «научностью».

Функциональные стили речи (в том числе и научный) с точки зрения построения эффективного публичного высказывания (а построение научного текста, очевидно, попадает в этом смысле в область действия законов риторики) даже и стилями-то называть неправильно.

Если стиль – это сочетание определенных и согласованных между собой формальных признаков, создающее устойчивый образ и являющееся основанием для эстетической оценки, то уместность языкового оформления, которая в очень значительной мере обеспечивается корректным использованием функционального стиля, – это обязательное требование для профессионального речевого взаимодействия (в отличие от положительной эстетической оценки, которая только желательна).

Что еще обеспечивает корректное языковое оформление, вспомним из курса прикладной риторики [Конявская].

Конявская С. В. Прикладная риторика для специалистов по защите информации. С. 120–128.

Итак, индивидуальный стиль может быть достоинством или недостатком данной конкретной речи, влияющим на оценку аудиторией, а исторический, функциональный, окказиональный стиль (в том числе регистры языка – так называемые высокий, средний и низкий стили) – это правила, которые при реализации речи обязательно должны быть выполнены.

Поэтому с точки зрения риторики собственно стилем правильно считать только индивидуальный стиль – именно он полностью соответствует сформулированному выше определению.

Все остальные типы стилей с точки зрения риторики (то есть применительно к публичным речам) относятся к понятию ***слога***.

Слог – это совокупность общеобязательных выразительных средств и качеств, обеспечивающая данной речи в данных обстоятельствах понимание и приемлемость для аудитории.

Значит, чтобы обеспечить *понимание*, хороший слог должен соответствовать *нормам языка*, а чтобы обеспечить *приемлемость – нормам ведения речи* того или иного типа.

Отсюда вытекают 5 качеств хорошего слога –

правильность,

чистота,

ясность,

уместность,

гармоничность –

достигаются выполнением норм языка (правильность и чистота) и норм ведения речи (ясность, уместность, гармоничность).

1. ***Правильность слога*** определяется соответствием *общим и частным нормам* современного литературного языка.

Общие нормы современного русского языка:

- *орфоэпические* (произнесение слов и словосочетаний, ударение: хэш (а не х'еш), флэш-память (а не фл'еш), включ*и*шь (а не вкл*ю*чишь), начат*а* (а не н*а*чата));
- *морфологические и словообразовательные* (образование мн. ч., производство одного слова от другого, использование правильных моделей словообразования: серверы, драйверы, договоры, директор*ия* (ж. р., а не директор*ий*), компонент (м. р., а не компонент*а* (кроме математического значения)), портирование (от порт, а не от partition), генер*ация*, а не генер*ирование*, но сгенер*ировать*, а не сгенер*ить* и т. д.);
- *лексические* (нельзя *преодолеть проблемы* – только *трудности*, а *проблемы – решить, разрешить* или *снять*; *задачу – решить*, а *на вопрос – ответить*; *предположение – высказать*, а *решение – предложить* и т. д.);
- *логико-синтаксические* (нормы, регулирующие правильность смысловых связей элементов предложения: случаи типа *отключить Интернет от компьютера* (правильно – *отключить компьютер от Интернета*);
- *синтаксические* («*пробегая мимо городового, сей страж порядка был возмущен неприличной скоростью бега литераторов в людном месте*» – так сказать по-русски нельзя: у действия, выраженного глаголом, и у действия, выраженного деепричастием, должен был один субъект (то есть получается, что «мимо городового» пробегал «страж

порядка»); неправильно говорить *в этой связи* – надо *в связи с этим* и т. д.).

Если речь письменная, то, разумеется, необходимо соблюдать также нормы орфографии и пунктуации – текст, написанный с ошибками, всегда производит крайне неприятное впечатление.

Частные нормы современного русского литературного языка – это нормы, определяющие правила построения отдельных типов высказывания: система *функциональных стилей*.

Функциональные стили бывают: обиходно-разговорный, научный, официально-деловой и публицистический.

2. ***Чистота слога*** – это *однородность* речи по отношению к общим и частным нормам литературного языка и отбору выразительных средств.

Соответственно, «нечистый слог» – это значит «неоднородный». То есть главных ошибок в этом смысле две – это

а) засорение речи неуместной или избыточной терминологией, архаичными словами или, наоборот, неологизмами, сленгом, просторечными выражениями (то есть любыми *чужеродными* словами);

б) неверное использование или смешение функциональных стилей (использование, например, в официально-деловом стиле вкраплений обиходно-разговорного или научного звучит довольно дико и смешно – представим: «Поскольку архитектура устройств данного типа включает в себя криптографический сопроцессор, шифруют они так быстро, что глазом моргнуть не успеешь»).

3. ***Ясность слога*** – это качество, которое обеспечивает понимание речи всяким, кто владеет тем же языком, с первого раза.

Главная ошибка, к сожалению, очень распространенная в наше время, – считать, что неясная речь звучит более «умно». «Наукообразие» производит впечатление только на крайне низко квалифицированную аудиторию, от которой вряд ли можно добиться серьезных результатов в смысле присоединения (не говоря уже о том, что сделать то, что хочет от нее ритор, аудитория любого уровня квалификации может только в том случае, если она это поняла). Слушателей же с достаточно высоким уровнем образования, квалификации и/или ответственности неясный слог только раздражает. Ясный же, напротив, всегда и всеми воспринимается очень легко, и содержание речи быстро усваивается. Больше того, чем более искушенной является аудитория, тем выше она ценит ясность слога.

Чтобы добиться слога такого качества, надо использовать слова в их словарных значениях, не нарушать без необходимости стандартного порядка слов, использовать понятные и не очень длинные конструкции. Ни в коем случае нельзя забывать, что длина фраз в письменной и в устной речи просто не может быть одинакова – даже если ритор не запутается сам в своей фразе, это обязательно сделает аудитория.

4. ***Уместность слога*** – это, в первую очередь, правильное использование регистров языка.

В настоящий момент с высоким стилем в нашей стране нужно быть осторожным, поскольку в целом идет «игра на понижение» и даже официальные лица стараются говорить как можно ближе к полукриминальному сленгу, очевидно, путая эту так называемую жесткость с определенностью позиции. Брать с них в этом пример ни в коем случае не надо, помня об остальных ораторских нравах, которые следует демонстрировать аудитории, в частности, скромности и доброжелательности. Однако иметь в виду эту общую

тенденцию необходимо – высокий стиль при таких обстоятельствах очень заметен и при малейшем сбое или фальши будет звучать смешно и неестественно.

В целом, речь в высоком стиле или, в еще большей степени, при комбинировании стилей – может звучать значительно ярче и обаятельнее, чем речь, оформленная в среднем, нейтральном регистре языка. Но если у ритора есть хоть малейшие сомнения в себе или аудитории – этого лучше избегать и произносить речь в нейтральном регистре.

6. ***Гармоничность слога***. Главный критерий, говорящий о том, что слог гармоничен, – это невозможность выразить мысль иначе, не исказив ее и не испортив звучания.

Это достигается применением разного рода «фигур речи» (эпитетов, метафор, метонимий и пр.), расположением слов и конструкций в предложениях, ритмом речи, создаваемым сочетанием коротких и длинных фраз и фрагментов. Речь звучит гармонично в том случае, если все эти применяемые ритором приемы лучше всего соответствуют содержанию речи.

Это очень важное дополнение, потому что каким-то образом слова расположены в любом случае и какой-нибудь ритм у речи обязательно есть, но если это никак не работает на содержание, то никакой особенной гармонии это речи не придаст, не говоря уже о том, что использование фигур речи не к месту создает впечатление значительно худшее, чем их полное отсутствие.

Помочь выработать гармоничный слог могут, в первую очередь, осознанная работа над ним и тренировки, а кроме того – чтение и восприятие на слух чужих текстов и оценка их с точки зрения примененных средств выразительности. В *Приложении* приведены перечень фигур речи и их краткие описания – в рамках тренировки имеет смысл попробовать

себя в их применении, но на публику выносить их все же стоит очень осмотрительно, не в ущерб остальным описанным выше характеристикам хорошего слога.

Функциональные стили

Описание функциональных стилей русского литературного языка целесообразно рассмотреть отдельно от общего описания качеств хорошего слога, поскольку свободное владение функциональными стилями *эмпирически* (то есть опытным путем) достигается довольно сложно, а польза от этого умения просто несопоставима с затраченными на целенаправленные тренировки усилиями.

Функциональный стиль – это подсистема языка, ограниченная определенным содержанием и назначением.

Фактически, это языковое проявление актуального в нашей современной культуре понятия «дискурс». Дискурс – явление более комплексное, включающее не только вербальное оформление мысли, но и целый ряд внеязыковых правил, условий и обстоятельств, но, по сути, его основа та же – разделение способов выражения по тому, что происходит, зачем и в каких обстоятельствах.

Каждый функциональный стиль, в отличие от дискурса, в котором далеко не последнюю роль играют интуиция и социальное чутье участника, описывается простыми и понятными правилами, по которым составляются тексты в этом стиле.

Всего функциональных стилей четыре:

- научный,
- публицистический,
- официально-деловой,
- обиходно-разговорный.

Некоторые ученые выделяют также художественный функциональный стиль, однако это неверно *по определению*:

художественные произведения не могут быть охарактеризованы с точки зрения некоего *общего* содержания и тем более назначения. Кроме того, совершенно очевидно, что в художественных произведениях не только *могут*, но и *используются* все функциональные стили литературного языка.

Научный стиль

Научный функциональный стиль – это передача объективной, обезличенной информации о предмете.

Соответственно, требования к этому стилю таковы: *ясность*, *точность*, *объективность* (то есть *описание* положения дел, а не его *оценка*), *недвусмысленность*, *логичность*, *воспроизводимость результатов* (это требование важно отличать от аналогичного требования к научному *методу*, где воспроизводимость результатов означает, что, проделав тот же исследовательский путь, можно *получить те же результаты*; воспроизводимость результатов применительно к *стилю* означает, что хорошо понятно, где в тексте описан результат, как его коротко «выписать» и впоследствии повторить или применить), *полнота* (то есть в тексте не должно быть пропусков – ни логических, ни синтаксических).

Отдельного комментария заслуживает требование объективности стиля. Речь идет о том, что явление или предмет описывается независимо от отношения к нему автора, независимо от автора вообще, так как автор не является частью описываемой системы и не оказывает на нее влияния.

Это требование часто вызывает возражение, состоящее в том, что человек, мол, обязательно субъективен в описании чего бы то ни было и т. д. Не вступая в дискуссию о том, так ли это, необходимо все-таки подчеркнуть, что речь идет *о стиле, а не о содержании*: научное описание должно быть объективно *по форме*. Объективность *содержания* того или иного научного текста к рассматриваемому вопросу отношения не имеет,

поскольку зависит никак не от стиля изложения. Однако, будучи изложенными не объективно по форме, даже самые объективные факты не будут восприниматься как научные.

Именно отсюда вытекает нежелательность использования в научном тексте фраз типа «я думаю», «мне кажется» и т. п. Неверное понимание этого правила привело к тому, что в научной практике укоренились фразы типа «наша работа», вместо «моя работа», «мы считаем», вместо «я считаю». «Мы» – это ничуть не более объективно, чем «я» – это точно так же субъективно, только когда при этом речь идет об одном человеке, а не о коллективе авторов, – то это еще и довольно глупо.

Итак, для научного функционального стиля характерны:

1. термины и слова с абстрактным значением;
2. употребление преимущественно существительных и прилагательных;
3. составные предлоги (в присутствии, при наличии, в условиях и т. д.) и союзы (тогда и только тогда, если и только если и т. д.);
4. указательные элементы (данный, соответствующий, вышеназванный и т. д.);
5. преобладание именительного и родительного падежей (кто/что и кого/чего);
6. глаголы преимущественно в форме 3 лица настоящего времени (делает);
7. причастия, деепричастия, страдательный залог (имеющийся, являясь, рассматриваемый, etc.);
8. сложный синтаксис;
9. знаки, значки, таблицы, схемы, графики;

И последнее – научному функциональному стилю *противопоказана оценочность*. <…>

При внимательном анализе изложенного выше материала может возникнуть закономерный вопрос: функциональные стили являются все-таки характеристикой языка или речи? Казалось бы, из названия очевиден ответ – функциональные стили русского литературного языка. Однако язык – инструмент коммуникации – конечно же не может характеризоваться стилем, так же как не может его характеризовать, например, род или число. Они в его системе просто есть, а проявляются они в конкретном акте коммуникации – в речи, тексте, высказывании, в отличие от характеристик собственно языка (флективный, синтетический), которые проявляются именно в языке как инструменте – в его грамматике, морфологии и т. д.

Казалось бы, это просто не имеет значения ни для кого, кроме узких специалистов.

Почему важно отдавать себе отчет, что функциональные стили вообще и научный функциональный стиль в частности – это стили не языка, а речи, характеристика конкретного текста? Это важно потому, что слова и формы слов получают функционально-стилистические оттенки значения и придают соответствующую окраску тексту только в сочетании и, можно сказать, определенной концентрации. Использование одного-двух терминов наряду с отсутствием слова «я» и слов, обозначающих эмоции, еще не сделает стиль текста научным. Стиль создается всем контекстом, единством его формы.

Более того, одни и те же слова и формы слов в разном окружении могут маркировать текст разными функциональными стилями, что блестяще продемонстрировано в следующем фрагменте [Кожина, Дускаева, Салимовский].

Кожина М. Н., Дускаева Л. Р., Салимовский В. А. Стилистика русского языка. С. 93–94.

Таким образом, при этом важным оказывается единство лингвистического и экстралингвистического. Одна и та же языковая единица в разных контекстах может выражать разное функционально-стилистическое значение. Например, глагольная форма настоящего времени, обычно выражающая в научной речи вневременное, абстрактное значение, в законодательной используется в значении настоящего долженствования. Ср. с типичным употреблением времени в научной речи: *Эта равнина **лежит** восточнее склонов Уральских гор* (расположена, находится вообще); *Такая схема **составляется** следующим образом*... (т. е. схему составляют, она составляется обычно, вообще таким образом); уже приводившийся пример из законодательного текста: *Капитальный ремонт **лежит** на нанимателе* (т. е. предписано, чтобы он лежал на нанимателе; наниматель обязан производить ремонт); или такой: *Законы **составляются** и утверждаются Государственной Думой* (т. е. установлено, чтобы Государственная Дума составляла законы, ее обязанностью является составление законов) и т. п. В газетном же сообщении в связи с его информативным характером та же форма наполняется обычно иным содержанием. Ср., например: *Сегодня день открытия заседаний Государственной Думы. Депутатам предстоит обсудить проект закона... **Составляется** новое законодательство о...* (настоящее момента речи или, точнее, настоящее актуальное).

Художественной речи более свойственно – в соответствии со спецификой этой речевой разновидности – настоящее историческое, иначе называемое настоящим

ж и в о г о п р е д с т а в л е н и я, способное образно передать действие как бы происходящим на глазах читателя: *Давеча задремал в канаве,* ***слышу – идут****... **Думаю**, значит, часть* ***идет*** (А. Н. Толстой). Эта форма времени неизвестна научному и деловому стилям, во всяком случае, нехарактерна для них. Наконец, та же временная форма в р а з г о в о р н о-о б и х о-д н о й речи часто выступает в значении настоящего времени м о м е н т а р е ч и: Я же говорю тебе, что ушел. Я думаю, что это не так. Посмотри, с каким аппетитом он хлеб ест. Она употребляется и в значении б у д у щ е г о времени: Завтра я иду в театр. Получается интересное явление: языковая единица (причем любого уровня) как бы расщепляется семантически, точнее, функционально-семантически, и той или иной своей стороной (значением) участвует в создании того или иного стиля. <…>

Так, обобщенный и отвлеченный (то есть объективный, другими словами) характер содержания научного текста накладывает отпечаток на использование форм единственного числа существительных. Формы единственного числа существительного, означающие в других функциональных стилях конкретный, единичный предмет, в научном используются для обозначения класса («*дуб распространен не далее такой-то широты*» – очевидно, что речь идет не о конкретном дубе; фраза «*дубы распространены*…» не будет ошибочной, но первая будет звучать более научно). То же касается глагольных форм, о которых шла речь в приведенной выдержке из учебника по стилистике, то же характеризует синтаксис – страдательные конструкции, неопределенно-личные, обобщенно-личные и безличные предложения – призваны подчеркнуть, что главное в этом тексте не субъект, а объект. В этих условиях заметно более органично начинают звучать краткие прилагательные, чем полные (*сложен*, а не *сложный*, *низок*, а не *низкий*). Они начинают тоже «работать» на объективность и отвлеченность, хотя в другом окружении могут звучать совершенно иначе. Сравним «*универсальные операционные системы настолько* ***сложны****, что требуют наращивания ресурсов производительности СВТ исключительно для обеспечения собственного функционирования, без учета запуска дополнительных ресурсоемких приложений*» (слово «сложные», если заменить на него «сложны», будет выглядеть странно и инородно, когда же речь идет не о постоянном признаке, а о ситуативной характеристике – то именно полное прилагательное отражает эту ситуативность, краткое же выглядит нейтрально: «*мы видим, что эти рассуждения настолько сложные, что вряд ли могут быть верными*» /* «*мы видим, что эти рассуждения настолько сложны, что вряд ли могут быть верны*») и контекст в обиходно-разговорном функциональном стиле «*весной девушки красивы*» (именно краткая форма подчеркивает ситуативность красоты, ее обусловленность сезоном, в отличие от «*девушка красивая*» – ее постоянного качества). Одинаковые формы создают совсем разные смысловые оттенки в зависимости от окружения.

Выработка стиля, как и любой другой навык, дается практикой, а не изучением правил, однако понимание закономерностей может этот процесс облегчить.

После восстановления в памяти этих сведений учащимся целесообразно предложить упражнение на применение научного функционального стиля и демонстрацию хорошего слога. Например, написать небольшой текст, содержащий постановку задачи и план их НИР, общим размером в 2–3 рукописные страницы или 1–2 печатные. После этого обменяться написанным и проверить соответствие текстов друг друга правилам хорошего слога и научного функционального стиля.

Если для такого упражнения недостаточно времени, можно предложить учащимся для исправления не совсем удачные тексты.

Научное общение

Научным общением, конечно, называется не любой разговор о науке или на научные темы, а вполне определенные формы мероприятий, принятые в научном сообществе.

Ф. А. Кузин дает такой список форматов научного общения [Кузин, с. 39]:

1. Съезд – собрание представителей отрасли науки в масштабе страны;
2. Конгресс – то же, что съезд, но на международном уровне;
3. Симпозиум – международное научное мероприятие, посвященное одному относительно узкому вопросу;
4. Конференция – мероприятие, посвященное одной теме (при этом тема может быть сколь угодно узкой или широкой, а участники могут быть как сотрудниками одной организации, так и учеными разных стран);
5. Семинар – мероприятие, в первую очередь, с небольшим составом участников, на котором обсуждение их докладов ведется под руководством ведущего ученого – руководителя семинара. Семинары бывают постоянно действующие или разовые. На постоянно действующих семинарах зачастую каждое заседание посвящено одному докладу одного из участников, по очереди.

В настоящее время в результате организационной специфики научной отрасли понятие «съезд» практически совсем отошло в прошлое, зато приобретает все большую популярность формат, не упомянутый Ф. А. Кузиным, – круглые столы.

Это мероприятие, на котором небольшой состав участников обсуждает не доклады, а какой-то заранее им известный список вопросов. При этом участники могут выступать спонтанно в режиме дискуссии или иметь заранее подготовленные выступления, но и в этом случае они не носят характер доклада, а являются скорее сообщениями. Руководит круглым столом ведущий, называемый также модератором. Часто выбор названия продиктован просто вкусом организатора, но содержательно эти два вида руководителя должны различаться – ролью в проведении мероприятия. Ведущий имеет более широкие полномочия по влиянию на ход обсуждения, сам является полноправным участником дискуссии, модератор же только следит за тем, чтобы дискуссия не принимала неуправляемый оборот, но и, напротив, не затухала – передает слово от одного участника другому, объявляет переход от вопроса к вопросу, перерывы, если требуются, и занимается прочими организационными вопросами. Модератор, конечно, может также высказать и свою точку зрения по обсуждаемому вопросу, но обставив это реверансами и «с позволения участников», а в общем случае должен от этого уклониться. От личных качеств и заинтересованности в теме модератора или ведущего круглого стола в очень значительной мере зависит успех мероприятия как с точки зрения удовлетворенности участников, так и с точки зрения достижения поставленных задач.

Различаются перечисленные формы научного общения также уровнем результатов. По итогам конгрессов и конференций принимаются резолюции. Уровень решений в этих резолюциях, разумеется, напрямую зависит от уровня мероприятия, он не может быть одинаковым всегда. Для начинающего исследователя, как правило, никакого интереса эти резолюции и решения в них не представляют.

По итогам симпозиумов обычно принимается решение по тому вопросу, которому было посвящено мероприятие, – симпозиумы собираются именно для решения по конкретному вопросу.

Семинары обычно посвящены принятию решения непосредственно по обсуждаемым работам. Как правило, это либо готовность какого-то материала к публикации или какой-то иной форме введения в научный оборот, либо продвижение исследователей в работе над большой темой – коллективной или индивидуальной, и т. п. Типичные примеры научных семинаров – семинары молодых ученых, работающих над диссертациями по близким темам, заседания центров изучения каких-либо вопросов, заседания коллектива авторов какого-то большого проекта (например, учебника или цикла учебников) или продолжающегося многотомного издания. Семинар в этом смысле представляет собой как бы форму контроля и промежуточной отчетности.

Решением по семинару может быть принять к публикации, расширить, сократить, устранить недостатки по полученным замечаниям или вовсе изменить подход к вопросу. В компаниях научно-технического толка часто принято проводить научно-технические семинары с той же целью – ознакомиться с продвижением проекта, посмотреть на выработанные подходы свежим взглядом и скорректировать по мере необходимости маршрут.

Круглые столы зачастую проводятся просто для обмена мнениями по какому-то вопросу, но усилиями ведущего на мероприятии этого вида тоже может быть выработано какое-то решение, если состав его участников таков, что может принять влиятельное решение по какому-либо вопросу.

С точки зрения дискурса молодому ученому нужно понимать следующие особенности перечисленных форм научного общения.

С ростом числа и разнообразия состава участников возрастает торжественность мероприятия. Если на круглый стол или семинар приемлемо прийти одетым в повседневно-деловом стиле, то на симпозиум, конференцию и конгресс необходимо одеться более строго и торжественно, без

излишеств в части индивидуализации наряда маркированными украшениями или иными приметами, выражающими социальные или культурные взгляды участника. В большей степени эти ограничения касаются выступающих, но и если в этот день исследователь планирует только слушать доклады, ему имеет смысл выглядеть так, чтобы восприниматься своим. Это даст возможность без стеснения задавать вопросы в зале заседаний или в кулуарах и вообще участвовать в неформальном общении ученых на равных.

Внешний вид для молодых людей часто бывает предметом убеждений и способом выражения себя. Это, безусловно, не удивит и не шокирует представителей научной общественности, поскольку ее составляют преимущественно люди довольно умные. Однако, планируя свой образ перед походом на любое (не только научное) мероприятие, имеет смысл вспомнить о том, что внешность – это только инструмент, а не самоцель, и она должна помогать, а не мешать человеку решать те задачи, которые он в данный момент считает актуальными. Если вы считаете актуальной задачу показать всем, что вы убежденный нонконформист, романтичная девушка или член дворянского собрания, а не научного сообщества, то маркируйте свой внешний вид этими признаками, ваш месседж будет понят и принят во внимание.

В своей публичной лекции «Вы и Ваши исследования» [Хемминг] в 1986 г. Ричард Хемминг упоминал об этом аспекте в ряду других недостатков, или, выражаясь современно, особенностей, которые могут помешать талантливому человеку стать великим ученым. Имеет смысл привести чуть более широкий контекст, чем было бы достаточно для ясности, просто потому, что в тексте лекции Хемминга есть свое очарование. Текст переведен непрофессионалом, однако минимальных представлений об английском языке достаточно, чтобы это не мешало восприятию, поэтому перевод оставлен без редактуры, в том виде, в котором он размещен в интернет-блоге.

Вторая вещь, я думаю, – это проблема личностных недостатков. Я приведу в пример парня, которого я встретил в Ирвине. Он был главой вычислительного центра, и он был на временном задании в качестве специального помощника президента университета. Было видно, что у него была работа с большим будущим. Как-то раз он привел меня в свой кабинет и показал мне свой метод обработки писем и то, как он заботился о своей корреспонденции. Он отметил, насколько неэффективен был секретарь. Он хранил все свои письма разложенными вокруг; он знал, где было все. И он мог вывести письмо в своем текстовом процессоре. Он хвастал, как изумительно это было и как он мог делать намного больше работы без вмешательства секретаря. Ну, я поговорил с секретарем. Секретарь сказал: «Конечно, я не могу помочь ему; я не получаю его писем. Он не дает мне данных для входа. Я не знаю, где и что он раскладывает. Конечно, я не могу помочь ему». Я вернулся к нему и сказал: «Смотри, если ты будешь делать все в одиночку по нынешнему методу, ты сможешь продвинуться лишь настолько и не дальше. Если ты научишься работать с системой, ты сможешь пойти так далеко, как система сможет тебя продвинуть». И он никогда не продвинулся дальше. У него был личностный недостаток – стремление к тотальному контролю, и он не хотел понять, что нужна поддержка системы.

Это происходит снова и снова; хорошие ученые борются с системой, вместо того, чтобы научиться работать с ней и использовать преимущества, которые она дает. Она дает много, если научиться, как это использовать. Это требует терпения, но вы можете довольно хорошо научиться использовать систему, и вы можете научиться обходить ее. В

конце концов, если вам нужен ответ «Нет», вы просто идете к боссу и легко получаете «Нет». Если вы хотите что-то сделать, не спрашивайте, делайте. Представьте ему свершившийся факт. Не дайте ему шанса сказать вам «Нет». Но если вы хотите «Нет», то его легко получить.

Другой личностный недостаток – это утверждение эго. Я расскажу о собственном опыте. Я приехал из Лос-Аламоса и в ранние дни использовал вычислительную машину в Нью-Йорке на Мэдисон Авеню, где мы просто арендовали время. Я все еще одевался в западные одежды: большие косые карманы, боло и все такое. Я подметил, что не получал такого же хорошего обслуживания, как другие люди. Я начал следить. Я прихожу и жду своей очереди, и я чувствую, что отношение ко мне не беспристрастно. Я спросил себя: «Почему? Никто из вице-президентов IBM не говорил “Покажите Хэммингу, где раки зимуют”. Это делали секретари. Когда появляется окно, они находят, кому его дать, но они находят кого-то другого. Почему? Я не относился к ним плохо». Ответ был в том, что я одевался не так, как они чувствовали, что человек должен одеваться в той ситуации. Все сводилось лишь к этому – я одевался неподходящим образом. Я должен был решить – утверждать свое эго и одеваться, как хочу, чтобы это постоянно отнимало энергию из моей профессиональной жизни, или сделать вид, что соответствую. Я решил, что сделаю вид, что соответствую. Я сразу стал получать намного лучшее обслуживание. И теперь, как старый яркий персонаж, я получаю лучшее обслуживание, чем другие люди.

Вы должны одеваться соответственно ожиданиям аудитории, к которой обращаетесь. Если я собираюсь выступить в компьютерном центре MIT, я надену боло и старую вельветовую куртку или что-то еще. Я достаточно

понимаю, чтобы не позволять своей одежде, своему внешнему виду, своим манерам препятствовать тому, что мне важно. Множество ученых чувствуют, что им надо утверждать свое эго и поступать по-своему. Им надо делать так, этак или иначе, и они постоянно за это платят.

Джон Тьюки почти всегда одевался очень небрежно. Он приходил в важный кабинет и требовалось много времени, чтобы другой человек понял, что перед ним первоклассный человек и лучше его послушать. Много времени Джона уходило на преодоление такого неприятия. Это впустую растраченные силы! Я не говорю, что вы должны соответствовать среде; я говорю, что видимость соответствия здорово помогает. Если вы будете утверждать свое эго в том или другом – «это будет по-моему», – вы будете расплачиваться в течение всей своей профессиональной карьеры. И это, на протяжении жизни, будет огромной ненужной проблемой.

Взяв на себя труд рассказывать шутки и быть немного дружелюбным с секретарями, я получал от них превосходную помощь. Например, однажды по какой-то дурацкой причине все копировальные ресурсы на Мюррей Хилл оказались заняты. Не спрашивайте меня, почему, но так уж вышло. Мне надо было что-то сделать. Мой секретарь позвонила кому-то в Холмдел, прыгнула в автомобиль компании, провела час в дороге и скопировала материал, а затем вернулась. Это было вознаграждением за то, что я предпринимал усилия к тому, чтобы ее приободрить, рассказывать ей шутки и в общем быть дружелюбным; это было такое небольшое дополнительное усилие, которое позднее для меня окупилось. Осознавая, что вы должны использовать систему, и изучая, как сделать, чтобы система делала вашу работу, вы учитесь менять систему под свои

нужды. Либо же вы можете постоянно с ней бороться, вести небольшую необъявленную войну всю свою жизнь.

И я думаю, что Джон Тьюки платил ужасную цену без какой-либо нужды. Он в любом случае был гением, но, я думаю, было бы куда лучше и куда проще, если бы он захотел немного приспособиться, вместо того, чтобы утверждать эго. Он всегда одевается, как хочет. И это касается не только одежды, но и тысячи других вещей; люди продолжают бороться с системой. Но не то, что бы вы хотя бы время от времени не должны это делать!

Когда они переместили библиотеку из середины Мюррей Хилл на окраину, мой друг подал заявку на велосипед. Ну, организация была не глупая. Они немного подождали и отправили ему карту местности с вопросом: «Могли бы вы, пожалуйста, указать на этой карте, какими путями вы, вероятно, будете ездить, чтобы мы получили на вас страховку». Еще несколько недель прошли; они спросили: «Где вы будете хранить велосипед и как он будет заперт, чтобы мы могли сделать то и то». Он в итоге понял, что его, конечно, забюрократизируют до смерти, поэтому он уступил. Он стал президентом Bell Laboratories.

Барни Оливер был хороший человек. Он как-то написал письмо в IEEE. В то время стандартная высота полок в Bell Labs была такой-то, а высота издания «IEEE Proceedings» была больше. Стандартную высоту полок нельзя было изменить, поэтому он написал человеку в издательстве IEEE письмо вроде: «Так-то много членов IEEE в Bell Labs и стандартная высота полок вот такая, поэтому размер журнала следует изменить». Он послал его за подписью своего босса. Ему пришла копия с подписью, но он так и не знает, был оригинал отправлен или нет. Я не говорю, что не следует предпринимать усилий к реформам. Я говорю, что, по моим

наблюдениям за способными людьми, они не позволяют себе предаваться такого рода борьбе. Они немного играют в нее, бросают и занимаются своей работой.

Многие второсортные ребята вязнут в какой-то небольшой глупости системы и доходят до войны. Они тратят свою энергию на глупый проект. Тут вы можете мне сказать, что кто-то ведь должен менять систему. Я согласен. Кто-то должен. Но кем хотите быть вы? Человеком, который меняет систему, или человеком, который делает первоклассную науку? Кем из этих людей вы хотите быть? Когда вы боретесь с системой, осознавайте, что вы делаете, насколько далеко вы хотите пойти ради забавы и сколько сил вы расходуете на борьбу с системой. Мой совет – оставить это кому-то другому, чтобы вы могли стать первоклассным ученым. Очень мало кто из вас способен одновременно и реформировать систему, и стать первоклассным ученым.

С другой стороны, мы не можем всегда уступать. Бывает, что определенная доля сопротивления необходима. Я наблюдаю, что почти все ученые получают удовольствие от определенной доли ковыряния системы просто из любви к этому. Это сводится к тому, по сути, что вы не можете быть оригинальны в одной области без оригинальности в других областях. Оригинальность подразумевает отличие от других. Вы не можете быть оригинальным ученым без каких-то других оригинальных характеристик. Но многие ученые позволяют своим причудам в других вещах заставлять себя платить намного большую цену, чем необходимо, за удовлетворение эго. <…>

Представляется необходимым добавить к сказанному Хеммингом только один комментарий. Рекомендации, которые он дает в своей лекции, предназначены тем, кто хочет стать великим ученым. Таким, чьим именем назовут какой-нибудь закон или эффект. Тем же, кто чувствует, что бороться с системами разного рода для него важнее, чем именовать закон, разумеется, не должен себе отказывать в этом, потому что это тоже очень важно и приносит массу удовольствия.

Несколько слов о различиях в докладах для мероприятий разных форматов. В первую очередь, отличаются они, как и сами мероприятия, степенью торжественности. Это означает не только стилистические приметы, но и степень детальности изложения и широты (vs глубины) проблемы.

Самый большой по объему, самый детальный доклад, посвященный конкретной, даже узкой теме, – характерен для семинара. Доклад на семинаре, если это регулярный семинар, проходящий по схеме, когда на каждом заседании обсуждается один доклад, может быть продолжительностью 40 минут или даже более. Регулярные семинары обычно имеют свод устоявшихся правил, с которым желательно ознакомиться заранее, расспросив постоянных участников. Например, может быть принято, чтобы слушатели семинара приходили на заседание, заранее прочитав полный текст работы, по которой делается доклад, и подготовив вопросы и замечания. А может быть, оценивать и обсуждать заведено на слух. Может быть принято, чтобы каждый участник обязательно задал хотя бы один вопрос и высказал мнение, а может быть принято, что выступают только те, кто счел нужным сам. Разумеется, начинающего исследователя, пришедшего на семинар впервые, никто всерьез не осудит за нарушение традиций, но, не нарушив их, можно хорошо себя показать.

Симпозиум предполагает доклады с четко очерченной тематикой, и степень их детальности, как и продолжительность, устанавливаются при формулировании правил каждого конкретного мероприятия в зависимости от его тематики и уровня запланированных результатов, сказать что-то общее о них сложно.

На конференции бывает два типа заседаний – пленарные и секционные. На большинстве конференций есть оба типа заседаний – одно или два (первое или первое и последнее) – пленарные, когда докладчики выступают сразу перед всеми участниками, и остальные – по секциям, в более узком кругу специалистов, объединенных интересом к теме секции. Темы секции могут быть выделены на различных основаниях, но, так или иначе, они всегда уже, чем тема конференции в целом. Например, на конференции «Комплексная защита информации» бывают, как правило, следующие секции (названия их могут быть разными на вкус программного комитета): техническая защита информации, подготовка кадров в области информационной безопасности, противодействие кибер-мошенничеству, правовые и нормативные аспекты защиты информации, школа молодых ученых.

Доклады на пленарных заседаниях, соответственно, носят более торжественный характер, рассчитаны на более широкую аудиторию, поэтому содержат меньше подробностей, но касаются тем, имеющих значение для всех или большинства участников. Как правило, на них выделяется по 20 минут. Секционные доклады могут быть более узкоспециальными, докладчик может рассчитывать на то, что аудитория секции ориентируется в теме секции достаточно глубоко и в этой тематике заинтересована. На секционный доклад обычно дается 15 минут и 5 минут на вопросы. Однако регламент нужно обязательно уточнять на стадии подготовки доклада, он может быть разным, может меняться в зависимости от числа отобранных к участию докладчиков, и, чтобы не пришлось на ходу выбрасывать часть материала, теряя связность повествования, нужно знать свой маневр заранее.

После окончания всех докладов в секции, как правило, происходит «дискуссия» – обсуждение и обмен мнениями по всем прослушанным докладам сразу.

Задавать докладчикам вопросы и высказывать свои суждения на конференциях допустимо и даже похвально, в том числе для начинающих исследователей. Однако следует взвесить, точно ли каждый из задуманных вопросов стоит обсуждать с докладчиком, стоящим за трибуной, или

целесообразно пообщаться с ним «в кулуарах», то есть в перерыве, в неформальном режиме. Это касается, в первую очередь, случаев, когда вопрос может быть связан с незнанием чего-то, что может быть очевидно всем остальным участникам дискуссии. Не всегда уместно тратить общее время на восполнение пробелов в своих знаниях. Другой случай, если есть основания предполагать, что ответ может поставить докладчика или кого-то другого в аудитории в неловкое положение. И наконец, если вопросов и так было уже много или ответ на ваш вопрос займет много времени, потому что вас интересуют детали и подробности, которые скорее всего, к слову, интересны далеко не всем участникам. В этих случаях лучше подойти к докладчику в перерыве и спросить, удобно ли ему сейчас поговорить о его докладе. В абсолютном большинстве случаев докладчик ответит согласием с искренним энтузиазмом.

В остальных же случаях вполне нормально и даже хорошо задавать докладчику вопросы сразу после доклада или во время дискуссии.

Более того, наличие вопросов говорит о внимании к докладу, что всегда приятно докладчику и является для него признаком успеха выступления.

Из этого следует сделать два вывода:

1) старайтесь задавать вопросы,

2) старайтесь делать доклад так, чтобы вам задавали вопросы, и будьте готовы на них отвечать.

Как отвечать на вопросы

К сожалению, начинающие исследователи зачастую отвечают на вопросы очень плохо и даже просто плохо их понимают. Отчасти от волнения, отчасти из-за того, что вопрос, задаваемый не знакомым преподавателем, а незнакомым человеком, сложно «перевести» на привычный язык.

Отдельный случай ошибочного поведения, когда молодой ученый «делает вид», что не понимает вопрос, так как считает его некорректным и пытается «дать это понять». К этому приему не стоит прибегать и авторитетным ученым, а начинающие при этом уж точно имеют довольно бледный вид.

На самом деле, понять большинство вопросов и, следовательно, ответить на большинство вопросов вполне реально. Основной методический прием, который нужно научиться применять к себе, таков: нужно представить себя тем, кто задает этот вопрос, и проанализировать, почему он спрашивает *именно это*. Здесь принципиально важно, что нужно не «поставить *себя* на его место», а именно представить себя *этим человеком*, иначе вы будете рассуждать о том, почему бы *вы* могли спросить именно это. А это не то, что требуется, требуется понять, почему *он* это спрашивает.

Задача распадается на две составляющие:

1) почему вообще можно задавать вопросы,
2) как узнать мотивы постороннего человека.

В том объеме, в котором достаточно для того, чтобы дать ответ на конференции, выяснить это вполне возможно.

Вопросы докладчику задают:

- из приличия (чтобы показать, что слушали),
- чтобы его поддержать,
- чтобы его «завалить» (скомпрометировать, поставить в неловкое положение),
- если слушатель считает иначе, не согласен и хочет это продемонстрировать,
- если слушатель чего-то не понял в докладе,
- если тема слушателя живо интересует и ему нужны подробности.

Если проанализировать различные случаи публичных вопросов, то можно легко заметить, что все более специфично формулируемые мотивы все равно сводятся к одному из перечисленных.

В целях выработки приемов по эффективному поиску ответов целесообразно объединить эти мотивы в пары (1–2, 3–4, 5–6). Различия между вопросами каждой пары имеют значение, но меньшее, чем различия между парами.

1. Если вопрос относится к первой паре (*из приличия или для поддержки*), то он скорее всего «простой», то есть он призван дать докладчику возможность показать дополнительные достоинства своего материала или развить свою мысль подробнее. Обычно он касается чего-то, что лежит совсем на поверхности доклада, так что единственная ошибка, которую тут можно допустить, – это начать искать второе дно.

В этом случае надо сказать «спасибо за вопрос» и рассказать какие-то выгодные для темы доклада детали. Если позволяет время и владение материалом, то таким вопросом можно воспользоваться как поводом углубиться в какие-то еще смежные вопросы, связав их, например, таким оборотом: «таких интересных нюансов за рамками доклада осталось еще много, взять хотя бы...».

Из вопросов, задаваемых начинающему исследователю, таких большинство. Единственное, что такой вопрос может *проверять*, – это насколько молодой ученый свободно общается и, собственно, умеет отвечать на вопросы, а проверять знания докладчика никто не собирается, доклад – это не экзамен.

Понимать, кто тот человек, который задает вопрос, в этом случае нужно, в первую очередь, для того, чтобы не ошибиться с типом вопроса (часто начинающий исследователь от волнения ищет во всем подвох, а понимание, что задающий вопрос слушатель ему точно не враждебен, поможет успокоиться и не пытаться защищаться там, где никто не нападает).

Вторая причина релевантна для вопросов любого типа – понять, кто тот человек, который задает вопрос, нужно для того, чтобы «перевести» вопрос на свой язык. Чтобы понять, почему он использует именно такие слова, если они вам не совсем органичны, что он может так называть и что в итоге стоит за этой формулировкой. Переведя вопрос на свою лексику, вы на него точно сможете ответить (это подтверждается тем, что, когда в аудитории есть кто-то, кто переформулирует вопрос привычным для докладчика способом, он его не пугается и может ответить, хотя вопрос тот же самый).

2. Во второй паре типов вопросов (*с целью «завалить» или дать понять, что не согласен*), конечно, слово «завалить» употреблено условно, так как (не будет лишним повторить это снова) конференция – это не экзамен, и в общем случае ни перед кем не стоит задача проверить знания докладчика. Имеется в виду, скорее, стремление некоторых людей «поумничать», хорошо себя показать на фоне докладчика, особенно если он молод и ощущается его волнение.

В принципе, вопросы типа «не согласен» к этому типу очень близки (поэтому и образуют пару), поскольку, если слушатель просто хочет выразить несогласие, он его выразит не в форме вопроса, а прямо, в виде возражения. Форма вопроса в этом случае призвана заставить докладчика скомпрометироваться, обнаружить самому несостоятельность своей позиции. Поэтому вопрос типа «не согласен» – всегда «с подвохом».

С такими вопросами все тоже совсем несложно – почти всегда они касаются терминологии. Поэтому путем того же «перевода» надо найти точку терминологического затруднения и ее вербализировать («видимо, наше с вами расхождение лежит в области значения слова… Я понимаю его следующим образом…, а вы, видимо, понимаете под этим...») – так исследователь покажет, что имеет представление об альтернативных взглядах на вопрос и использует слова не случайно, а в рамках осознанных представлений.

Если же расхождение касается не терминов, а действительно концепций, то надо постараться показать, что вы *понимаете* позицию того, кто задает вопрос. Если вы продемонстрируете знание его позиции, это автоматически поднимет вас над уровнем диалога взрослого с нерадивым студентом и поставит в равные условия – он не согласен с вами, а вы с ним – и не по незнанию, а по убеждению. Это очень важный нюанс, поскольку иногда начинающие исследователи считают, что слов «я не согласен» достаточно, чтобы это было конкурентоспособной позицией. Такое позиционирование может вызвать только сожаление. Если вы не согласны, потрудитесь сформулировать, с чем именно, почему (в чем

проявляется неправильность позиции, с которой вы не согласны) и чем ваша позиция снимает эту неправильность.

Идеальным развитием событий, конечно, стала бы дискредитация чуждой позиции в своем ответе, но это требует, в первую очередь, хладнокровия и, что не менее важно, свободного владения объемом знаний, достаточным для конструирования «на ходу» полемических конструкций, что приходит только с практикой как непосредственного участия в дискуссиях, так и наблюдения за ними.

К сожалению, на начальном этапе исследовательской деятельности зачастую докладчик просто не в силах сразу сообразить, в чем заключается позиция его оппонента. В этом случае имеет смысл ее деликатно уточнить – попросить задать более широкий контекст вопроса или еще каким-нибудь способом втянуть его в диалог и получить больше информации. Для этого можно, например, просто переспросить: «Я правильно понимаю, что вы имеете в виду то-то и то-то?».

Более-менее прояснив, что явилось подоплекой вопроса, докладчик должен провести черту между тем, о чем говорил он, и тем, о чем ведет речь задающий вопрос. И эту черту нужно ясно показать, сделав очевидным, что речь идет просто о другом – по таким-то причинам.

Важно не просто сообщить в той или иной приемлемой форме, что случилась коммуникативная неудача (проще говоря, докладчика неверно поняли), но и то, что она случилась не по вине докладчика, что все было сказано вполне однозначно, двусмысленности не было, и если она показалась – то виноват не докладчик, а разница в понимании терминологии или разница в концептуальных подходах.

Допустим, докладчик, рассказывавший о подходе к контролю целостности через изменение представлений о перечне его объектов, использовал в своем докладе формулировку «критичные объекты» в отношении таких объектов контроля целостности, целостность которых для системы является критически важной. В результате он получил вопрос о том, как этот подход учитывает то, что критичные объекты различаются уровнем критичности и эти уровни образуют иерархии. Ясно, что в первый момент это откровенно

ставит в тупик, однако докладчику не следует сразу предполагать худшее – что он не знает чего-то базового о том, чем глубоко занимается и в рамках чего даже предлагает новые подходы. Следует поискать, в чем может быть причина такой странной формулировки. Втянув оппонента в разговор и заставив его тем самым «покрутить вопрос», дать больше контекста для его понимания, легко выявить, что речь идет о каких-то объектах реальности, о системах, а не об объектах контроля целостности, которыми являются элементы системы. Даже если докладчик не знает понятия «объект информатизации» или задающий вопрос слушатель нарочно не хочет его называть прямо, желая усложнить вопрос, то отличить системы от элементов систем – реально, если не волноваться, а целенаправленно искать, что в обсуждаемом вопросе вообще может быть понято по-разному. Догадавшись, что речь идет о другого рода «объектах», конечно, не нужно восклицать: «Ну какое же отношение к объектам контроля целостности имеют предприятия, которые причисляются к критичным объектам?! Я же говорил совершенно о другом!» Лучше, если докладчик непременно хочет ненавязчиво упрекнуть задающего такой вопрос, ответить, что объекты информатизации – не важно, на каком уровне иерархии критичности находящиеся, – наверняка тоже могут быть объектами контроля целостности, но их никогда не стоит ставить в один ряд с атрибутами и настройками, потому что целостность атомной электростанции обеспечивается и контролируется совсем другими средствами. Однако, разумеется, даже выставив оппонента не очень внимательно слушавшим, всегда желательно ответить и по существу – например, в описываемом случае – уточнить, что предложенный механизм описывает элементы вот на таком-то уровне, а иерархизация *систем* находится вот на таком-то и между совокупностями графов для систем разных уровней иерархии нет никаких пересечений, поэтому иерархия совокупностей графов смысла не имеет и не рассматривается.

Очень хорошо для докладчика, но довольно сложно в условиях выступления, которое все же является некоторым стрессом, постараться сформулировать «причину в себе» в

выражениях типа «я понимаю, чем я вас заставил подумать, что... Возможно, действительно, лучше было бы сказать...». Как правило, такое осмысление возможно только после доклада, но и «признания» такого рода уместнее в кулуарах, чем с трибуны, поэтому, если есть возможность, их стоит заготовить на случай, если оппонент захочет продолжить разговор после заседания.

3. Самый лучший тип вопросов – это третий тип, вопросы из разряда «нужны подробности». Если докладчик получил такой вопрос, значит, либо его тема крайне интересна аудитории, либо как минимум выступление было сделано превосходно. Исключением, конечно, может быть случай, если непонимание вызвано невнятностью рассказа или оперированием неизвестными аудитории сущностями, но и в этом случае то, что у слушателей возникло все-таки желание разобраться, должно внушить сдержанный оптимизм.

Подход к ответу в этих случаях будет один – нужно подумать, что именно и по какой причине мог не понять конкретно тот человек, который задает вопрос. Если он из другой страны – он не знает нашу нормативную базу и понятия, которые в ней вводятся. Если он из конкурирующей организации, то это вопрос предыдущего типа («не согласен»), если он тоже делал доклад и в нем фигурировали статистические методы, то он, скорее всего, понимает, например, слово «корреляция» узко специальным образом, а под результатом эксперимента имеет в виду результат вычисления, и т. д. Нужно поставить себя на его место, проанализировать, в чем разница ваших представлений и как ее оптимальным образом выровнять.

Это сработает и в случае, если задающий вопрос слушатель искренне заинтересован в теме, и в случае, если он просто что-то не понял. Разница разве что в том, что в первом случае нужно рассказать подробнее, в во втором – понятнее.

Так, на вопрос «что такое LVM’ы и почему именно с ними возникают проблемы с контролем целостности?», нужно просто буквально объяснить, что такое LVM – хотя бы дать расшифровку аббревиатуры: логическое управление *томами* (то есть инструмент, позволяющий видеть логические тома

вместо физических дисков, *вне зависимости* от их соотношения между собой, – или как-то еще, но так, чтобы это было *предметно* понятно, возможно, даже нарисовать – диски и тома). Потому что именно из этого понятного образа становится ясно, в чем проблема с контролем целостности (если для средства контроля целостности (СКЦ) объектом контроля является диск, а для системы это понятие заменено на *не совпадающий* с ним том, то в этом и кроется коллизия – система ничего не знает про диски, а СКЦ – про тома, они не могут договориться), а рассуждать о том, что LVM – это слой абстракции, совершенно бессмысленно (хотя это в каком-то смысле действительно слой абстракции, но из *слоя абстракции* не ясно, что не так с контролем целостности).

Это вкратце все, что может теоретически помочь при ответах на вопросы, все остальное может дать только практика.

Что же касается вопросов, которые начинающий исследователь будет сам задавать другим докладчикам, то здесь нужно просто помнить о том, чтó для него самого отличает хороший вопрос от плохого. Любой человек оценивает вопрос как «хороший» в случае, если он отвечает двум условиям:

- он может на этот вопрос ответить;
- он понимает, зачем (почему) его спросили именно это.

Почему так – понять довольно легко. Если понятна цель вопроса, лучше понятно и его содержание, а значит, легче найти ответ, это главное. Второстепенное, но важное – вопрос, цель которого вы понимаете, вы не воспринимаете как вопрос на засыпку или вопрос ради вопроса, для соблюдения формальностей.

Руководствуясь этой логикой, даже начинающий исследователь сможет избежать ситуаций, в которых его вопросы вызовут раздражение или недоумение.

Полемика

Полемика так или иначе является частью научного общения, даже если она происходит не в устной форме на научном мероприятии, а в виде текста специального жанра

(рецензия, отзыв, реферат) или в «истории вопроса» исследовательского текста.

Правила ведения научной полемики не слишком заметно отличаются от правил ведения любой другой полемики в приличном обществе и в приличной форме. Отличия сводятся лишь к тому, что ведется она в соответствии с признаками научности. Именно относительно этих параметров устанавливается соответствие одной и несоответствие другой позиции, а доводы, используемые при опровержении, являются доводами тех же типов, что и при обосновании, то есть могут представлять собой данные опытов, рассуждение или ссылки.

В качестве краткого руководства по научной полемике в текстах представляется достаточным привести посвященный этому вопросу фрагмент книги Ф. А. Кузина [Кузин].

В случае же полемики в устной форме на научном мероприятии целесообразно руководствоваться общими принципами *опровержения несовместимого* в публичных выступлениях [Конявская], чему посвящен следующий после раздела из книги Кузина фрагмент.

2.10. Способы опровержения доводов оппонента

В научном произведении, и прежде всего в диссертационной работе, очень часто приходится доказывать не истинность, а ложность суждения или неправильность доказательства других исследователей, т. е. **делать опровержение их доводов**. Опровержение, таким образом, направлено на разрушение доказательств других исследователей путем установления ложности или необоснованности их утверждений.

Поскольку операция опровержения направлена на разрушение ранее состоявшегося доказательства, то в зависимости от целей критического разбирательства оно может быть выполнено следующими способами: критикой тезиса, критикой аргументов и критикой демонстрации.

Первый способ – критика (опровержение) тезиса. Его цель – показать несостоятельность (ложность или ошибочность) выставленного пропонентом[3] тезиса. Опровержение такого тезиса может быть прямым или косвенным.

Прямое опровержение строится в форме рассуждения, получившего название «сведение к абсурду». Аргументация в этом случае протекает в следующем виде: вначале условно допускают истинность выдвинутого пропонентом положения и выводят логически вытекающее из него следствие.

Рассуждают при этом примерно так: допустим, что пропонент прав и его тезис является истинным, но в этом случае из него вытекают такие-то и такие-то следствия.

[3] Участники дискуссии имеют свои названия: тот, кто выдвинул и отстаивает тезис, называется пропонентом, а тот, кто выступает с возражениями, – оппонентом.

Если при сопоставлении следствий с фактами окажется, что они противоречат объективным данным, то тем самым их признают несостоятельными. На этой основе делают заключение о несостоятельности и самого тезиса, рассуждая по принципу: ложные следствия всегда свидетельствуют о ложности их основания.

В качестве примера опровергнем положение «Земля является плоскостью». Временно примем за истинное это утверждение. Из него следует, что Полярная звезда должна быть видна везде одинаково над горизонтом. Однако это противоречит установленному факту: на различной географической широте высота Полярной звезды над горизонтом различна. Значит, утверждение «Земля плоская» является несостоятельным, т. е. Земля не плоская.

В процессе аргументации прямое опровержение выполняет разрушительную функцию. С его помощью показывают несостоятельность тезиса пропонента, не выдвигая никакой идеи взамен.

Косвенное опровержение строится иным путем. Оппонент может прямо не анализировать тезис противоположной стороны, не проверяя ни аргументов, ни демонстрации пропонента. Он сосредоточивает внимание на тщательном и всестороннем обосновании собственного тезиса.

Если аргументация основательна, то вслед за этим делается второй шаг – приходят к заключению о ложности тезиса пропонента. Такое опровержение применимо, разумеется, только в том случае, если тезис и антитезис регулируются принципом «третьего не дано», т. е. истинным может быть лишь одно из двух доказываемых утверждений.

Рассмотрим теперь **второй способ разрушения ранее состоявшегося доказательства**, который называется **«критика аргументов»**. Поскольку операция доказательства – это

обоснование тезиса с помощью ранее установленных положений, следует пользоваться аргументами (доводами), истинность которых не вызывает сомнений.

Если оппоненту удается показать ложность или сомнительность аргументов, то существенно ослабляется позиция пропонента, ибо такая критика показывает необоснованность его тезиса. Например, пусть кто-либо пытается доказать, что «некто Иванов как предприниматель обладает собственностью», и при этом рассуждает так: «Все предприниматели обладают собственностью. Иванов – предприниматель. Следовательно, Иванов обладает собственностью». Опровергаем это доказательство указанием на сомнительность аргумента «Все предприниматели обладают собственностью», так как есть предприниматели, собственностью не обладающие. Здесь мы не опровергаем тезис «Иванов обладает собственностью». Этот тезис может оказаться истинным, хотя в данном случае и не доказанным в должной мере. Но позиция того, кто этот тезис доказывал, оказалась существенно ослабленной.

Критика аргумента может выражаться в том, что оппонент указывает на неточное изложение фактов, двусмысленность процедуры обобщения статистических данных, выражает сомнение в авторитетности эксперта, на заключение которого ссылается пропонент, и т. п.

Обоснованные сомнения в правильности доводов (аргументов) с необходимостью переносятся на тезис, который вытекает из таких доводов (аргументов), и потому он тоже расценивается как сомнительный и, следовательно, нуждается в новом самостоятельном подтверждении.

Критика демонстрации – это третий способ опровержения.

В этом случае показывают, что в рассуждениях пропонента нет логической связи между аргументами и тезисом. Когда тезис не вытекает из аргументов, то он как бы повисает в воздухе и считается необоснованным.

Как критика аргументов, так и критика демонстрации сами по себе лишь разрушают доказательство. Заявлять о том, что тем самым опровергается и сам тезис противоположной стороны, нельзя. О нем можно лишь сказать, что он требует нового обоснования, так как опирается на неубедительные доводы (аргументы) или доводы (аргументы) не имеют прямого отношения к тезису.

Таковы основные правила аргументирования, построенные с использованием основных правил логического доказательства и опровержения. Только соблюдая их, можно успешно вести полемику на страницах диссертационной работы. В этой связи дадим еще несколько практических советов.

- В ходе аргументации пользуйтесь только теми аргументами, которые вы и ваш оппонент понимаете одинаково.

- Не преуменьшайте значимость сильных аргументов противника, лучше, наоборот, подчеркивайте их важность и свое правильное понимание.

- Если ваш аргумент не принимается, найдите причину этого и далее на нем не настаивайте.

- Свои аргументы, не связанные с тем, что говорил противник, приводите после того, как вы ответили на его доводы.

- Ограничивайте количество своих аргументов. Излишняя убедительность всегда вызывает отпор, так как превосходство партнера в споре всегда обидно. Приведите

один-два ярких аргумента и, если достигнут желаемый эффект, ограничьтесь.

- Говорите не только о плюсах своих доказательств или предложений, но и о минусах. Этим вы придадите своим аргументам больший вес, так как двусторонний обзор (плюсы и минусы) лишает их легковесности и обезоруживает оппонента.

- Используйте в качестве аргумента только то, что принимает ваш оппонент. Не путайте факты и мнения.

- Подавайте аргументы, демонстрируя уважение к оппоненту и его позиции. Помните, что «друга» убедить легче, чем «врага».

- Ссылки на авторитет, известный вашему оппоненту и воспринимаемый им тоже как авторитет, усиливают возможности ваших аргументов. Ищите авторитетное подкрепление им.

- Не отвергайте доводы оппонента, а, признавая их правомерность, переоценивайте их силу и значимость. Усиливайте значимость потерь в случае принятия его позиции или уменьшайте значимость выгод, ожидаемых им.

- Не стремитесь быстро переубедить оппонента, лучше идти постепенными, но последовательными шагами. <…>

Опровержение несовместимого

Итак, обоснование и опровержение несовместимого (далее – опровержение) образуют группу частей высказывания, противопоставленных всем остальным по тому, что они представляют собой *аргументацию*, рассуждение (а не описание, повествование или побуждение).

Опровержение нужно четко отличать от доказательства «от противного». Логика доказательства «от противного» (предположим, что неА, тогда приходим к явно абсурдным следствиям, стало быть, неА неверно, значит, верно – А) – это логика *аргумента*, который может быть использован как в опровержении, так и в обосновании. Это просто доказательство того, что А – верно.

А опровержение – это часть высказывания, содержащая аргументацию позиции ритора через доказательство ложности или неприемлемости взглядов или мнений, противопоставленных этой позиции, не совместимых с ней.

То есть приравнять опровержение к доказательству «от противного» можно только в том случае, если «неА» называть не какое-то конкретное положение вещей, а позицию оппонентов, а это, думается, все-таки существенная натяжка. Различие сущностное: доказательство от противного – метод, а опровержение – часть публичной речи.

Конкурирующая позиция, как правило, выработана достаточно умными и подготовленными людьми, она может быть детально разработана, иметь систему доказательств и т. п. – она жизнеспособна. И ее опровержение должно быть

разработано не менее добросовестно, но при этом быть кратким, поскольку опровержение – это *не цель* речи (за исключением тех случаев, если речь представляет собой какой-то вид рецензии), а лишь один из этапов подтверждения правильности нашей собственной позиции.

Более того, к опровержению без необходимости лучше не прибегать, а ограничиться убедительным обоснованием. Необходимость опровержения определяется тем, что без этого позиция ритора оказывается незащищенной и неубедительной.

Еще одна ситуация, когда опровержение уместно, – это ситуация непосредственной реакции на выступление оппонента. Если *до* нашего выступления оппонент выступает с речью, требующей от нас какой-то реакции, то делать вид, что ничего не слышали, – не всегда хорошо. В этом случае в уже подготовленную речь необходимо *вписать* опровержение, причем не всегда имеющее отношение к теме самого выступления. Такие ситуации надо стараться предусматривать и к ним готовиться, поскольку экспромтом вписать опровержение *в готовую речь* довольно трудно. Если же выступить с опровержением как таковым, не пытаясь сделать его частью своего запланированного выступления, то это, во-первых, в некоторых случаях может выглядеть не солидно, а во-вторых, позволит втянуть нас в дискуссию, которая помешает достижению собственной, *заранее намеченной цели*.

С точки зрения этоса опровержение может быть построено *добросовестно* или *недобросовестно*.

Недобросовестно построенное опровержение, то есть такое, которое вводит в заблуждение относительно мотивов, намерений, слов или поступков оппонента, называется *софистическим*.

Добросовестное опровержение бывает двух типов:

- *диалектическое,*
- *полемическое.*

Фактически, эти типы различаются по тому, каково соотношение аудитории и оппонента в том или ином случае.

Если носителем позиции, противоположной позиции ритора, является *сама аудитория* (то есть ритору необходимо добиться присоединения непосредственно оппонента), то метод опровержения будет ***диалектическим*** – установление истины в ходе дискуссии (явной или опосредованной, подразумеваемой).

Если же оппонент является *третьим лицом*, которое тоже имеет влияние на аудиторию и связанные с ее присоединением интересы, то метод опровержения будет **полемическим** – демонстрация аудитории несостоятельности позиции или неприемлемости целей конкурента.

Из этого на основании здравого смысла легко выводятся различия между тем, как строятся опровержения одного и второго типа.

Нетрудно понять, что если носитель позиции, не совместимой с риторской, – сама аудитория, то не стоит критиковать, в частности, ее цели или квалификацию. Наоборот, ритору необходимо апеллировать к тем целям, которые его с аудиторией объединяют, хотя бы потому, что не считать их общими целями – неприлично или неуместно по текущей конъюнктуре.

Например, хорошо понятно, что цель любой фирмы – получение прибыли, и в этом смысле наши цели никогда не смогут полностью совпасть с целями конкурентов. Но при этом существует достаточно большой набор целей, опосредованно связанный с этой основной (получением

прибыли), но которые, если они будут озвучены, вряд ли кто-то из работающих в области защиты информации станет объявлять неактуальными или вредными: повышение статуса российских разработок, защита отечественного рынка от дешевой импортной продукции заведомо низкого качества и т. п.

При том, что эти цели могут и не восприниматься аудиторией как главные, ни представители бизнеса, ни представители государства, ни потребители не станут

- возражать с точки зрения нравственности,
- сомневаться в том, что они в этом действительно заинтересованы.

Однако, обращаясь к такого рода общим целям, ни в коем случае нельзя впадать в патетику или говорить о каких-то слишком абстрактных вещах. Общая цель типа «вор должен сидеть в тюрьме» хороша только на специализированном мероприятии в соответствующей аудитории.

Итак, в целом достаточно очевидно, что осуждать цели аудитории или обвинять ее в недобросовестности не стоит, а следует показывать, что действия, которые она собирается предпринять, альтернативные нашему предложению, не приведут к достижению ее целей или приведут к нему со значительными затратами.

В случае же, когда оппонент – не сама аудитория, а какая-либо третья сила, то вполне целесообразно показать, что цели оппонента противоречат целям аудитории, или их мотивы безнравственны, или они недобросовестны и некомпетентны, в отличие от самого ритора. Однако все это следует делать, только если это так и есть, и делать очень продуманно, потому что, будучи пойманным на лжи или

подтасовке, ритор может полностью разрушить свою репутацию.

При полемическом опровержении очень важно помнить, что мы убеждаем не оппонента, а аудиторию. Соответственно, нужно выбирать аргументы, убедительные именно для аудитории, а не для тех, чье мнение мы оспариваем. Так, если у нас есть совершенно железный с научной или технической точки зрения аргумент, но он будет непонятен аудитории, не соответствуя уровню ее подготовки, или будет оскорбителен по тону или иллюстрирующим примерам, убедительным он не будет.

В целом строить диалектическое опровержение следует исходя из следующих принципов:

1) Поскольку критикуемая позиция, как правило, представляет собой продуманную и разработанную концепцию, в опровержении нужно ее ***точно, кратко и объективно описать***.

2) Критикуемая концепция обычно не вся целиком неправильная, она может содержать совершенно правильные и полезные мысли. Поэтому надо четко отделить правильное от неправильного и максимально точно ***определить предмет критики*** (не вся концепция, а лишь то конкретное в ней, что приводит к ее общей несостоятельности).

3) В любой концепции есть главное и второстепенное. Если жанр речи – не рецензия или отзыв на работу, то нужно постараться удержаться от критики второстепенных положений, даже если они настолько уязвимы, что трудно не поддаться соблазну критики. Критиковать надо только основные, принципиальные положения.

4) Для того чтобы опровержение приводило к обоснованию, оно должно строиться исходя не только из особенностей критикуемой концепции, но и из позиции

самого ритора. Эти две позиции необходимо ***тщательно развести***, чтобы было ясно видно, для чего вообще ритор говорит о чужой позиции. Задача опровержения – не просто показать, что критикуемая позиция неверна, а что она неверна ***в отличие от предложения*** ритора.

Полемическое опровержение строится в основном по тем же принципам, только при этом допускается критическая характеристика самого оппонента.

Однако важно иметь в виду, что критиковать оппонента следует не «вообще» за какие-то его недостатки, а только по тем позициям, которые имеют непосредственное отношение к предмету разговора.

Эффективнее всего для этого, так же как и в обосновании, использовать *гомерическую последовательность доводов*.

При этом наиболее сильными доводами будут не те, которые лучше всего выявляют внутренние противоречия концепции, и даже не те, которые выявляют противоречия концепции с какими-либо интересами аудитории, а те, что выявляют противоречия критикуемой концепции *с общими местами* (топосами).

Разумеется, для выявления таких противоречий желательно привлекать также не любые общие места, а те, что имеют отношение к интересам аудитории и предмету обсуждения.

Выявленные противоречия с общими местами всегда звучат достаточно ярко и впечатляюще, поэтому от выражения прямых оценок в этой ситуации вполне можно воздерживаться, предоставив их аудитории, если только это не будет выглядеть ханжеством или беспринципностью.

Например, совершенно корректно и вместе с тем достаточно определенно прозвучит утверждение, что можно по-разному смотреть на то, что более выгодно потребителю: купить более дешевое одноразовое средство и выбросить его, когда возникнет необходимость купить версию с большей (или просто другой) функциональностью, или купить более дорогое, но модифицируемое средство.

Вместе с тем формулировка типа «Вам судить, активное или пассивное средство защищает надежнее», скорее всего, прозвучит вовсе не демонстрацией уважения к конкуренту, а демонстрацией пренебрежения интересами аудитории, что для аудитории всегда обидно – любому человеку хочется, чтобы о нем проявляли по возможности искреннюю заботу.

Поэтому, если формулировка «активное СЗИ защищает очевидно надежнее, чем пассивное, поскольку…» в той или иной ситуации кажется излишне прямолинейной и хочется высказаться более витиевато, то можно прибегнуть примерно к такой конструкции: «На базе пассивных СЗИ, действительно, возможно построить эффективную систему защиты информации, и даже есть прецеденты. Однако это системы значительно более сложные и дорогостоящие как при установке, так и в эксплуатации, чем системы на базе активных СЗИ».

Это звучит достаточно определенно и однозначно, но вместе с тем не грубо и не безапелляционно.

Итак, общие принципы построения опровержений таковы:

1) Не прибегать к опровержению без необходимости.

2) Тип опровержения (диалектический или полемический) необходимо выбирать, ориентируясь не на личные предпочтения, а исходя из условий выступления и критикуемой позиции. При прочих равных лучше

предпочесть диалектический, чтобы избежать подозрений в личной пристрастности.

3) В диалектическом опровержении нельзя использовать приемы полемического и, тем более, софистического.

4) Если оппонент использовал полемические или софистические приемы, то не только можно, но и целесообразно применить полемическую технику, потому что аудитория должна видеть, что ритору небезразличен исход дела, поскольку он защищает ее интересы. Позиция ритора в публичной речи – не его личная убежденность как часть мировоззрения, а защита интересов аудитории, а значит, и речи быть не может о том, чтобы по-христиански «подставить вторую щеку». В противном случае бездействие ритора вызовет подозрения либо в некомпетентности, либо в безразличии к результату.

5) Полемическое опровержение может быть двух видов: критика и разоблачение. В первом случае ритор предлагает альтернативу позиции, во втором – компрометирует ее. К разоблачению прибегать нужно в том случае, если опровержение является реакцией на критику уже озвученной позиции.

6) Компрометировать надо сначала пафос, потом логос, затем этос. Иными словами, сначала показываем, что, если присоединиться к предложению оппонента, результат будет нежелательный, затем – что не следует соглашаться с его доводами, а затем – что его мотивам вообще не стоит доверять. <…>

Комментария в отношении этого отрывка заслуживает только одно возможное «тонкое» место – это фигурирующие в нем «цели аудитории». Разумеется, научное мероприятие может не иметь какой-то ясно формулируемой конкретной цели, на которую докладчик мог бы опираться в своих доводах или в доводах полемики. Однако научное сообщество всегда имеет в виду пресуппозицию[4] о поиске истины как конечной цели научной деятельности в любой отрасли знаний. Поэтому опираться на то, что нечто противоречит этой цели, – вполне приемлемо и эффективно. Однако, разумеется, в этом нужно соблюдать меру и хороший вкус, чтобы не выглядеть фальшиво и глупо.

В качестве практического задания по этой теме, если позволяет время, желательно провести «конференцию», на которой учащиеся выступят с докладами и зададут друг другу вопросы. В случае возможности привлечения к этому мероприятию посторонних участников (что будет полезно), разбор мероприятия, конечно, следует провести отдельно.

[4] Пресуппозиция – это предварительное, фоновое знание, без которого смысл того или иного высказывания или феномена не может быть понят правильно. Это знание выражено имплицитно или не выражено вовсе, а существует только на уровне более широкого контекста. Так, в вопросе «Вы перестали пить коньяк по утрам?» заложена пресуппозиция «раньше Вы пили по утрам коньяк» (имплицитное выражение пресуппозиции), а в выражении «остался у разбитого корыта» заложена пресуппозиция «по причине собственных неверных действий», и она в этом высказывании не выражена никак – чтобы правильно понять человека, употребившего это выражение, необходимо знать более широкий контекст, являющийся источником этой фразы. Пресуппозицией является также знание о том, что за мероприятие сейчас проходит или какой сейчас сезон. Сведения о том, что на улице +10°, имеют разный смысл в зависимости от того, зима сейчас или лето.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если предисловие этой книги было преимущественно адресовано преподавателям курса, то заключение представляется верным адресовать учащимся по ней, поскольку именно для них всегда важен ответ на вопрос, что дало изучение той или иной дисциплины.

В первую очередь необходимо сказать о выборе рассмотренных тем – их состав не вполне традиционен для курса «Основы научного исследования». В книге нет инструкций по оформлению работ разных видов, не рассматривается квалификационная работа типа «дипломный проект», практически совершенно не идет речь о роли науки в современном обществе, крайне мало внимания уделено подходам и направлениям (нет совсем ни слова о синергии), научным парадигмам и методам (методам, направлениям, парадигмам, подходам и методикам посвящена всем сразу одна не самая обширная тема), не рассматриваются вопросы защиты интеллектуальной собственности, внедрения результатов в производство (и в целом не слишком подробно освещены этапы научной работы). Можно сказать, что большинство тем, обычно составляющих основное содержание курса с таким названием, исключены из рассмотрения.

Надо признать, что если разбирать причины *не*включения этих тем подробно, то они окажутся весьма разнообразными и процесс будет выглядеть довольно случайным, поскольку на деле отбирались темы не для *ис*ключения, а для *в*ключения в курс. Задачей этого курса, мотивировавшей такой состав тем, как представлен в итоге в этой книге, виделось формирование понимания общей логики того, как заниматься *научным исследованием*. Не научными исследованиями, а научным исследованием – процессом, который, если человек к нему

имеет склонность, может пронизывать всю его жизнь, даже весьма далекую от науки или учебы.

Темы, положенные в основу структуры книги, можно разделить на «понятийные» и «технические», понимая под последним конкретные приемы работы исследователя, а под первым – универсальные категории и понятия науки как сферы деятельности. Разделение это, однако, будет не абсолютным, так как курс носит практический характер и во всех случаях упор делался на то, «что конкретно делать» с предметом очередного рассмотрения. Так, *в большей степени понятийными* можно считать первую тему – о признаках научного и отличении его от ненаучного, вторую и третью темы – про обоснования и определения, четвертую – про ошибки, пятую – про методологию, метод, методику, направления и парадигмы, седьмую – про экспериментальную часть исследования и частично десятую – про дискурс (за исключением «технической» части про научное общение). *В большей степени техническими* являются шестая тема – о процессе учебной научной работы, восьмая – об отдельных методических приемах в экспериментальной части и девятая – о написании «истории вопроса» (раздела о степени разработанности проблемы).

Очевидное преобладание «понятийных» тем объясняется именно их универсальностью – они представляются более важными потому, что не связаны с единовременной задачей написания учебной работы, а помогают сформировать общий ментальный подход к решению интеллектуальных задач любого рода.

Легко заметить еще одну особенность «технических» тем, кроме их малочисленности, – они касаются того, как создать и сохранить баланс между наукой и практикой. Я сознательно избегаю слова «теория», так как ни один исследователь никогда не считает теорию «непрактичной». Но на начальных этапах погружения в научную деятельность гармония в этом соотношении может вызывать сложности, которые призваны осветить и сделать менее проблематичными эти три «технические» темы.

Так, курс составлен примерно по принципу «самое интересное плюс то, без чего совсем нельзя обойтись», а остальное, если понравится самое интересное, исследователь узнает самостоятельно.

Еще одно, что необходимо сказать, чтобы расставить все точки над «ё»: эта книга – не инструкция, прочитав которую и выполнив предписанные шаги можно гарантированно в сжатые сроки и без труда получить научный результат. И это связано не с тем, что такую инструкцию просто вообще нельзя написать. Уровень научного результата может быть разным, и определенный уровень вполне достижим по инструкции. Но эта книга написана для тех, чей уровень притязаний ощутимо выше, кто хочет «получить удочку, а не рыбу», и хочет, чтобы было интересно, а не только быстро и просто. Поэтому в ней много «лишнего», что призвано создать у начинающего исследователя представление о красоте квеста получения научного знания, из-за которой всем этим единственно стоит заниматься.

Если хоть раз – возможно, не при чтении, а при выполнении задания или следовании своим мыслям, порожденным этим материалом, – возникло ощущение «ух ты!» (или «вау-эффект», или «инсайт» – кому что ближе), то моя цель достигнута.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ, ПРИВЕДЕННЫХ ВО ФРАГМЕНТАХ ИЛИ ЦЕЛИКОМ

Ван Гиг Дж. Прикладная общая теория систем. Т. I. М.: МИР, 1981.

Гренандер У. Лекции по теории образов. Т. I. М.: МИР, 1979.

Гузаиров М. Б., Машкина И. В., Степанова Е. С. Построение модели угроз с помощью нечетких когнитивных карт на основе сетевой политики безопасности // Безопасность информационных технологий. 2011. № 2. С. 37–49.

Ивин А. А. Искусство правильно мыслить. М.: Просвещение, 1986.

Кожина М. Н., Дускаева Л. Р., Салимовский В. А. Стилистика русского языка. Учебник. М.: Наука, 2011.

Конявская С. В. Прикладная риторика для специалистов по защите информации. М.: РФК-Имидж Лаб, 2008.

Конявский В. А. Иммунитет как результат эволюции ЭВМ // Инсайд. Защита информации, 2017. № 4. С. 46–52.

Коэн М. Р., Нагель Э. Введение в логику и научный метод. Челябинск: Социум, 2010.

Кузин Ф. А. Диссертация: Методика написания. Правила оформления. Порядок защиты. Практическое пособие для докторантов, аспирантов и магистрантов. М.: Ось-89, 2000.

Кун Т. С. Структура научных революций. М.: Прогресс, 1977.

Ляхов А. И., Пустогаров И. А., Гудилов А. С. Проблема неравномерного распределения пропускной способности канала в сетях IEEE 802.11 // Информационные процессы. 2008. № 3. С. 149–167.

Мамардашвили М. К. Классический и неклассический идеалы рациональности. М.: Лабиринт, 1994.

Налимов В. В., Голикова Т. И. Логические основания планирования эксперимента. 2-е изд. М.: Металлургия, 1981.
Пигарёв И. Н. Основной парадокс состояния сна и его экспериментальное разрешение [Электронный ресурс]. URL: http://polit.ru/article/2014/05/04/pigarev/ (дата обращения: 29.05.2018).
Пойя Д. Как решать задачу. М.: Государственное учебно-педагогическое издательство Министерства просвещения РСФСР, 1959.
Пойя Д. Математика и правдоподобные рассуждения. М.: Наука, 1975.
Таванец П. В. Суждение и его виды. М.: Издательство Академии наук СССР, 1953.
Фейнман Р. Ф. Наука самолетопоклонников [Электронный ресурс]. URL: http://lib.ru/ANEKDOTY/FEINMAN/feinman.txt_with-big-pictures.html (дата обращения: 29.05.2018).
Хемминг Р. Вы и Ваши исследования. Публичная лекция на семинаре в серии коллоквиумов в Bell Communications Research 7 марта 1986 года [Электронный ресурс]. URL: https://habrahabr.ru/post/209100/ (дата обращения: 17.04.2018). Перевод с английского. Оригинальная стенограмма – URL: http://www.cs.virginia.edu/~robins/YouAndYourResearch.html (дата обращения: 17.04.2018).
Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. М.: МИР, 1967.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арнольд И. В.* Основы научных исследований в лингвистике. М.: Высшая школа, 1991. – 140 с.
2. *Болдин А. П., Максимов В. А.* Основы научных исследований. Учебник. М.: Академия, 2012. – 336 с.
3. *Гелецкий В. М.* Теория физической культуры и спорта. Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 342 с.
4. *Гореликова Г. А.* Основы научных исследований. Кемерово, 2003. – 52 с.
5. *Кожухар В. М.* Основы научных исследований. М.: Дашков и К°, 2010. – 216 с.
6. Методы изучения языка [Электронный ресурс]. URL: https://infopedia.su/14xa50c.html (дата обращения: 29.05.2018).
7. *Огурцов А. Н.* Основы научных исследований. Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 178 с.
8. *Сабитов Р. А.* Основы научных исследований. Челябинск: Челяб. гос. ун-т, 2002. – 138 с.
9. *Сабитова Р. Г.* Основы научных исследований. Владивосток, 2005.
10. Лекционные материалы для подготовки к экзаменам [Электронный ресурс]. URL: http://www.lects.ru (дата обращения: 29.05.2018).
11. *Лебедев С. А.* Философия науки: Словарь основных терминов. М.: Академический Проект, 2004. – 320 с.
12. *Некрасова Н. А., Некрасов С. И., Садикова О. Г.* Тематический философский словарь. М.: МГУ ПС (МИИТ), 2008.
13. Философия: Энциклопедический словарь / Под редакцией А. А. Ивина. М.: Гардарики, 2004. – 1072 с.

14. Как составить описание научного эксперимента [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikihow.com/составить-описание-научного-эксперимента (дата обращения: 29.05.2018).
15. *Мозолина Н. В.* Разработка средства контроля целостности виртуальной инфраструктуры и ее конфигураций. Дипломная работа. Кафедра защиты информации ФРТК МФТИ, 2017.
16. *Колмогоров А. Н.* Три подхода к определению понятия «Количество информации» // Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Математика, кибернетика». 1991. № 1. С. 24–29.
17. *Виннер Н.* Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. Изд. 2-е. М.: Наука; Главная редакция изданий для зарубежных стран, 1983. – 344 с.
18. *Конявский В. А.* Информационные технологии как объект защиты и классификация антивирусных программ // Безопасность сетей и средств связи. 2007. Вып. 2. С. 52–54.
19. *Конявский В. А.* Иерархия защиты электронных документов // Сборник материалов конференции «Комплексная защита информации» (Суздаль, 2000). Минск, 2000. URL: http://www.okbsapr.ru/index_kon2.html (дата обращения: 02.06.2018).
20. *Гадасин В. А., Конявский В. А.* Системные основы технологии защиты электронной информации // Управление защитой информации. 2001. Т. 5. № 1. С. 18–25.
21. *Конявский В. А., Гадасин В. А.* Основы понимания феномена электронного обмена информацией. Мн.: Серия «Библиотека журнала “УЗИ”», 2004. – 327 с.
22. *Иванов В. П.* Об основаниях теории защиты информации // Безопасность информационных технологий. 2011. № 1. С. 97–98.
23. *Уемов А. И.* Логические ошибки. Как они мешают правильно мыслить. М.: Госполитиздат, 1958. – 120 с.
24. *Конявский В. А.* Ошибка великого Тьюринга (в печати).
25. *Шамардина Е. Г., Конявская С. В.* Теория и практика построения подсистем обеспечения информационной безопасности. М.: Первая Оперативная Типография, 2018. – 96 с.
26. *Султанахмедов Х. С., Каннер (Борисова) Т. М.* Особенности верификации средств защиты информации //

Вопросы защиты информации: Научно-практический журнал/ФГУП «ВИМИ». 2014. Вып. 4 (107). С. 55–57.
27. Теорема Гёделя о неполноте // Википедия [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Теорема_Гёделя_о_неполноте (дата обращения: 05.06.2018).
28. *Шафаревич И. Р.* Математическое мышление и природа. Доклад, прочитанный 28 сентября 1993 г. на собрании Японского математического общества [Электронный ресурс]. URL: www.bim-bad.ru/biblioteka/article_full.php?aid=1419 (дата обращения: 05.02.2018).
29. *Конявская С. В.* Семантическая деривация в структуре числовой оппозиции существительных: Pluralia tantum в истории русского языка. Дисс. … канд. филол. наук. М., 2003.
30. *Конявская С. В.* Словари как материал для историко-лингвистического исследования // Русистика на пороге XXI века. Проблемы и перспективы. М.: ИРЯ РАН, 2003. С. 19–21.
31. *Рудаков С. М.* Исследование устойчивости Новой гарвардской архитектуры к вирусному заражению. Дипломная работа. Кафедра защиты информации ФРТК МФТИ, 2018.
32. *Жуве М.* Похититель снов. М.: Время, 2008. – 320 с.
33. *Ивоботенко Б. А., Ильинский Н. Ф., Копылов И. П.* Планирование эксперимента в электромеханике. М.: Энергия, 1975. – 184 с.
34. *Пелевин В. О.* Ампир «В». М.: Эксмо, 2006. – 416 с.
35. *Пелевин В. О.* Бэтман Аполло. М.: Эксмо, 2013. – 520 с.
36. *Красных В. В.* Основы психолингвистики и теории коммуникации. М.: Гнозис, 2001. – 270 с.

Подписано в печать 12.10.2018 г.
Формат 60x90/16. Печать цифровая.
Бумага офсетная №1. Усл.-печатные листы: 47,7
Усл. авт. л.: 29,5
Тираж 500 экз. Тип. Заказ № 61710
ООО «Первая Оперативная Типография»
115114, Москва, 2-й Кожевнический пер., 12
Тел.: 8-495-994-49-94