

Парадигма развития науки

А. Е. Кононюк

Истины и информация

**(Фундаментальная теория
представления истин и информации)**

Книга 2

**Отображение истин и
информации**

**Киев
«Освіта України»
2016**



Кононюк Анатолий Ефимович

Не познав информацию не познаешь истину



УДК 51 (075.8)
ББК В161.я7
К65

Рецензент:

Н.К.Печурин - д-р техн. наук, проф. (Национальный авиационный университет).

Кононюк А. Е.

К213 Истины и информация. — В 16-и кн. Кн.2. — К.:Освіта України. 2016.—528 с.

ISBN 978-966-373-693-8 (многотомное издание)

ISBN 978-966-373-694-6 (книга 2)

Многотомная работа в которой освещены теоретические и практические аспекты истины как объекта, процесса, явления. Подробно рассмотрены математические средства описания моделей истин, методы и принципы образования информационных моделей истин. Изложены методы синтеза информационных моделей истин на основе наиболее распространенных формализованных языков. Особое внимание уделено процессам образования информационных моделей истин как исходных условий для построения алгоритмов образования информационных моделей истин. На основе и с использованием определяющего отношения строятся различные разновидности определений истин и исследуются свойства таких определений. Исследование определяющего отношения приводят к созданию новой научной концепции – концепции фундаментальной теории истин и информации. Истины, определяемые посредством использования определяющих отношений, считаются и являются понятиями истин. Частными случаями понятий истин являются утверждения, теоремы, доказательства, теории.

Для магистров, аспирантов, докторантов, занимающихся теоретическими и практическими вопросами исследования истин и информации.

УДК 51 (075.8)
ББК В161.я7

ISBN 978-966-373-693-8 (многотомное издание) © Кононюк А. Е., 2016
ISBN 978-966-373-694-6 (книга 2) © Освіта України, 2016

Оглавление

1. Классическая и семантическая концепция отображения истины и основания семантики.....	9
1.1. Классическая концепция истины.....	9
1.2. Семантическая концепция истины и основания семантики.....	22
1.2.1. Главная проблема — удовлетворительное определение понятия истины.....	22
1.2.2. Объем понятия «истинно».	23
1.2.3. Значение термина «истинно».	24
1.2.4. Критерий материальной адекватности искомого определения.....	25
1.2.5. Истина как семантическое понятие.....	27
1.2.6. Языки с точно заданной структурой.....	28
1.2.7. Антиномия лжеца.....	30
1.2.8. Противоречивость семантически замкнутых языков.....	31
1.2.9. Объектный язык и метаязык.....	33
1.2.10. Условия позитивного решения главной проблемы.....	35
1.2.11. Построение (краткий очерк) определения.....	36
1.2.12. Следствия данного определения.....	38
1.2.13. Распространение полученных результатов на другие семантические понятия.....	39
1.2.14. Является ли семантическая концепция истины «правильной»?	40
1.2.15. Формальная корректность предложенного определения истины.	41
1.2.16. Возможность устранения семантических терминов как свидетельство их ненужности.....	44
1.2.17. Соответствие семантической концепции истины философскому и обыденному употреблению этого понятия.....	45
1.2.18. Отношение приведенного определения к «философской проблеме истины» и к различным эпистемологическим направлениям.....	47
1.2.19. Предполагаемые метафизические элементы в семантике.....	49
1.2.20. Применимость семантики к конкретным эмпирическим наукам.....	51
1.2.21. Применимость семантики к методологии эмпирических наук.....	53
1.2.22. Применения семантики к дедуктивным наукам.....	56
1.3. Математика как модель смысловой структуры теоретического знания.....	59
1.4. Математика, метаматематика и истина.....	69
1.4.1. Введение.....	69
1.4.2. Краткий исторический обзор.....	72

1.4.3. Построение фундамента для математики в 20-м веке.	74
1.4.4. Об интуиции в математике.....	79
1.4.5. Основания математики – современное состояние.....	82
1.4.6. О математике вообще.....	91
1.4.7. Что есть истина в математике.....	94
1.4.8. О доказательствах.....	96
1.4.9. О возможности надежного доказательства непротиворечивости теорий.....	98
1.4.10. Непротиворечивость логики предикатов.....	101
1.4.11. Заключение.....	103
2. Классификация предметов объективной реальности (истин) как начальный этап представления информации.....	108
2.1. Введение в научную классификацию и таксономию.....	108
2.2. Место классификации в теории истин и информации.....	110
2.3. Таксономия и мерономия.....	113
2.4. От логики к практике классификации истин и информации.....	123
2.5. Место естественного образования структуры классификаций истин и информации.....	125
2.6. Нечеткие классификации истин и информации.....	128
2.6.1. Истины и их свойства.....	131
2.6.2. Покрытия и отношения сходства.....	132
2.6.3. Отношения подобия, разбиения и фактор-множества.....	135
2.7. Кластеризация.....	142
2.7.1. Задачи кластеризации.....	142
2.7.2. Векторное квантование и понижение размерности.....	145
2.8. Нечеткие кластеры.....	147
2.8.1. Введение в нечеткий кластер-анализ.....	147
2.8.2. Нечеткие множества, нечеткие кластеры, нечеткая кластеризация.....	149
2.8.3. Понятие кластера.....	152
2.8.4. Отношения похожести и многозначная логика.....	156
2.8.5. Обобщение понятия кластера.....	158
2.8.6. Представления и кластеризации.....	164
2.9. Классы распознаваемых истин.....	167
2.10. Классификация истин.....	180
2.10.1. Проблема построения классификации истин.....	180
2.10.2. Характеристика сложных распознаваемых истин.....	190
2.10.3. Классификация методов распознавания истин.....	198
2.10.3.1. Классификация задач распознавания истин.....	198
2.10.3.2. Метод микроподхода.....	203
2.10.3.3. Метод макроподхода.....	204
2.10.3.4. Метод физического моделирования.....	208

2.10.3.5. Метод математического моделирования.....	209
2.10.3.6. Метод имитационного моделирования.....	213
3. Отражение истин как их всеобщее свойство.....	217
3.1. Проблема единства мира и его отражение.....	217
3.2. Единый закономерный мировой процесс.....	221
3.2.1. Основные формы материи.....	222
3.2.2. Отражение как всеобщее свойство материи.....	233
3.3. Формы биологического отражения.....	242
3.4. Основные свойства человеческого сознания.	245
3.5. Отражение и информация.	247
4. Базовые группы отображений истин и информации.....	260
4.1. Восприятия.....	260
4.1.1. Уровни перцептивного восприятия.....	260
4.1.2. Свойства восприятия.	261
4.1.3. Константность восприятия.....	262
4.1.4. Факторы восприятия.....	264
4.1.5. Формы и принципы восприятия.....	265
4.1.6. Результат восприятия.....	266
4.1.7. Эффекты восприятия.....	267
4.1.8. Атрибуция.....	268
4.1.9. Впечатление.	269
4.2. Соответствия.....	270
4.2.1. Упорядоченное множество.....	270
4.2.2. Прямое произведение множеств.....	272
4.2.3. Проекция множества.....	273
4.2.4. Определение соответствия.....	273
4.2.5. Обратное соответствие.....	275
4.2.6. Композиция соответствий.....	275
4.3. Отображения и функции.....	278
4.3.1. Отображения и их свойства.....	278
4.3.2. Отображения, заданные на одном множестве.....	280
4.3.3. Типы отображений.....	281
4.3.4. Образы и прообразы.....	282
4.3.5. Композиция отображений.	283
4.3.6. Подстановки как отображения.....	283
4.3.7. Разложение подстановки в циклы.....	285
4.3.8. Функция.....	286
4.3.9. Обратная функция.....	289
4.3.10. Функция времени.....	292
4.3.11. Понятие функционала.....	294

4.3.12. Понятие оператора.....	295
5. Меры и единицы информации.....	296
5.1. Информационное пространство.....	296
5.2. Кратные интегралы как меры информации.....	302
5.3. Меры Жордана.....	307
5.4. Многомерные интегралы.....	316
5.5. Реквизиты — базовые элементы информации.....	319
5.6. Составные единицы информации.....	326
5.7. Показатели.....	336
6. Связь (взаимодействие) необходимого и случайного с информацией.....	347
6.1. От случайного к необходимому - диалектика развития мира.....	347
6.1.1. Становление вероятностных представлений.....	347
6.1.2. Вероятностные зависимости как отражение объективных свойств материальных истин.....	356
6.1.3. Диалектическая природа вероятностного анализа.....	365
6.1.4. Энтропия как мера неупорядоченности статистических форм движения.....	373
6.1.5. Информация как мера упорядоченности статистических форм движения.....	380
6.1.6. Развитие — накопление информации.....	383
6.2. Основы методологии информационного анализа систем (истин)	391
6.2.1. Информационный анализ некоторых систем (истин)	391
6.2.2. Объективная упорядоченность статистической системы и информация, извлеченная из ее наблюдений.....	403
6.2.3. Информационно-системный анализ истин.....	414
6.3. Диалектика случайных и детерминированных связей в процессах развития.....	426
6.3.1. Уточнение понятия развития в терминах теории информации.....	426
6.3.2. Пример соотношения случайных и детерминированных связей: язык.....	430
6.3.3. Общие свойства эволюционных процессов.....	440
6.3.4. Общие статистические закономерности эволюции.....	452
6.4. Эволюция идей.....	462
6.4.1. Две точки зрения на связь информации и энтропии.....	462
6.4.2. Диалектика случайных и детерминированных связей.....	472
6.4.3. Причины случайностей.....	492
6.4.4. Непредсказуемость стохастических процессов и познаваемость материальных явлений.....	506
Литература.....	519

1. Классическая и семантическая концепция отображения истины и основания семантики

1.1. Классическая концепция истины

Начнем наше изложение с основных понятий и определений, используемых в настоящей работе.

Окружающий Мир может быть представлен (отображен) как субъект-объектное и процессное многообразие носителей информации. К таким носителям информации относятся прежде всего объекты (субъекты) и процессы реальной действительности - истины. Понятию «**реальная действительность**» сложно дать четкое формализованное определение, поэтому сформулируем определение данного понятия в виде аксиомы существования: «Существует, по крайней мере, одно множество предметов реальных действительностей - истин».

Истина – элемент реальной действительности, существующий в Окружающем Мире независимо от его ощущения. Можно рассматривать истину как отношение принадлежности исследуемого объекта (процесса) к некоторому множеству реальной действительности (существующей реальности).

Истина — это структурно-функциональная развивающаяся субстанциональная целостность.

Под истинностью какого-либо предложения (в языке данной науки) понимается определенная адекватность семантического значения этого предложения семантическому значению соответствующего предложения в “языке фактов”.

Истина (сущность) может быть представлена четырьмя составляющими истинностной характеристиками. Каждая из четырех составляющих истинностной (сущностной) характеристики истины может быть представлена совокупностями основополагающих параметров, соответствующих их природе. Так, **субстанция** может

быть представлена *природой истин, их сложностью, масштабами, детерминацией, происхождением и способом бытия (функционирования)*. Для **строения** свойственны *элементы, связи, организация, структура и сложность*. **Функционирование** выражается *равновесием, целью, результатом и эффективностью*. **Развитие** характеризуется *адаптивностью, скоростью, воспроизводством, вектором и траекторией*.

Материальные истины находятся во взаимодействиях:

- слабым,
- сильным,
- электромагнитном,
- гравитационном.

Естественным и общепринятым свойством истины является её неизменность, т.е. независимость от времени и других условий. Истины существуют вне нас с такой же необходимостью, как и предметы объективной реальности.

Язык – средство выражения мыслей. Материальная субстанция языка в устной речи – звуковые волны, в письменной – знаки.

Язык фактов – это естественный или символический язык, который используется для описания результатов наблюдений или экспериментов в какой-либо области реального мира.

Отражение (в физике)— физический процесс взаимодействия волн или частиц с поверхностью, изменение направления волнового фронта на границе двух сред с разными свойствами, в котором волновой фронт возвращается в среду, из которой он пришёл. Одновременно с отражением волн на границе раздела сред, как правило, происходит преломление волн (за исключением случаев полного внутреннего отражения). В акустике отражение является причиной эха и используется в гидролокации. В геологии оно играет важную роль в изучении сейсмических волн. Отражение наблюдается на поверхностных волнах в водоёмах. Отражение наблюдается со многими типами электромагнитных волн, не только для видимого света. Отражение УКВ и радиоволн более высоких частот имеет важное значение для радиопередач и радиолокации. Даже жёсткое рентгеновское излучение и гамма-лучи могут быть отражены на малых углах к поверхности специально изготовленными зеркалами. В

медицине отражение ультразвука на границах раздела тканей и органов используется при проведении УЗИ-диагностики.

Отражение (в философии) — всеобщее свойство материи, как обладающей «свойством, по существу родственным с ощущением, свойством отражения», проявляющееся в способности материальных систем воспроизводить определенность других материальных систем в форме изменения собственной определенности в процессе взаимодействия с ними. Концепция отражения восходит к французскому материализму XVIII века, один из представителей которого Дени Дидро утверждал: «способность ощущения есть всеобщее свойство материи или продукт её организованности». Частными и специфическими *формами* отражения предполагаются информация, ощущение и сознание.

Говоря об отражении действительности (истин) нашими органами чувств, хотят подчеркнуть, что действительность познаваема, что никакой преграды между "явлением" и "вещью в себе" нет, что познание - это процесс, который всё полнее открывает перед нами законы развития действительности.

Состояния некоторой истины m в совокупности признаков T можно интерпретировать как отображение (корреспонденцию) некоторой другой совокупности признаков T' на T , при которой все истины, кроме истины m , имеют единственный прообраз (см. рис. 1). Каждое из допустимых отображений указанного типа — это состояние истины m .

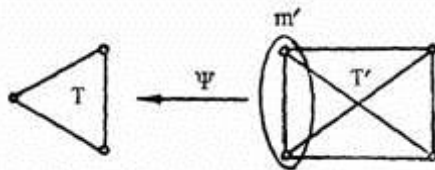


Рис. 1

Информация

Термин "**информация**" происходит от латинского слова "**informatio**", что означает **сведения, разъяснения, изложение.**

Несмотря на широкое распространение этого термина, понятие информации является одним из самых дискуссионных в науке. В настоящее время наука пытается найти общие свойства и закономерности, присущие многогранному понятию *информация*, но пока это понятие во многом остается интуитивным и получает различные смысловые наполнения в различных отраслях человеческой деятельности:

- **в обиходе** информацией называют любые данные или сведения, которые кого-либо интересуют. Например, сообщение о каких-либо событиях, о чьей-либо деятельности и т.п. "*Информировать*" в этом смысле означает "*сообщить нечто, неизвестное раньше*";
- **в технике** под информацией понимают сообщения, передаваемые в форме знаков или сигналов;
- **в кибернетике** под информацией понимает ту часть знаний, которая используется для ориентирования, активного действия, управления, т.е. в целях сохранения, совершенствования, развития системы (Н. Винер).

Клод Шеннон, американский учёный, заложивший основы теории информации — науки, изучающей процессы, связанные с передачей, приёмом, преобразованием и хранением информации, — **рассматривает информацию как снятую неопределенность наших знаний о чем-то.**

В.М. Глушков определяет информацию через вторичную характеристику движения – энергию.

Приведем еще несколько определений:

- *Информация — это сведения об объектах и явлениях окружающей среды, их параметрах, свойствах и состоянии, которые уменьшают имеющуюся о них степень неопределенности, неполноты знаний* (Н.В. Макарова);
- *Информация — это отрицание энтропии* (Леон Бриллюэн);
- *Информация — это мера сложности структур* (Моль);
- *Информация — это отраженное разнообразие* (Урсул);
- *Информация — это содержание процесса отражения* (Тузов);
- *Информация — это вероятность выбора* (Яглом).

Современное научное представление об информации очень точно сформулировал **Норберт Винер**, "отец" кибернетики. А именно: «Информация — это обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему и приспособления к нему наших чувств».

В нашем понимании: информация – процесс восприятия субъектами живой природы отраженной истины.

Только и только представители живой природы наделены свойствами воспринимать окружающий мир через (посредством) его элементы (процессы) или их совокупности посредством восприятия отраженных истин, иными словами, только и только представители живой природы могут воспринимать информацию и реагировать на ее воздействия.

Информация несет смысловую нагрузку. Бессмысленной информации не бывает.

Истина реальной действительности представима в Окружающем Мире своим отражением. Та часть отраженной истины, которая попадает в «поле зрения» человека с помощью органов чувств, трансформируется в его (человека) сознании моделью отраженной истины, которую мы будем называть **информационной моделью отраженной истины (проще: информацией)**.

Информация – отображенная часть отраженной истины в сознании человека. Информация представима в сознании человека стоп-кадром. **Стоп-кадр** – фиксированное состояние отраженной истины в сознании человека посредством органов чувств.

Стоп-кадр представляет собой минимальный фрагмент информации (информационный фрагмент).

Мерой информации будем называть некоторую непрерывную действительную неотрицательную функцию, определенную на множестве (распознаваемых) истин (событий, систем, множеств) и являющуюся аддитивной, т.е. мера конечного объединения функций распознаваемых истин (событий, систем, множеств) равна сумме мер каждой распознаваемой истины (события).

Мерой визуального представления информационного объекта, отображенного на стоп-кадре, является кратный интеграл.

Стоп-кадр - единица меры информации, представленная кратным интегралом. Областью интегрирования выступают линии (одномерные меры), плоские фигуры (двумерные меры), объемные фигуры (трехмерные меры).

Сложность информационного стоп-кадра представляет собой единство сложности состава, структуры, функций, организации, уровня и жизненного пути отраженной истины.

Причем сложность информационного стоп-кадра может обретать большое многообразие благодаря сочетанию параметров. Хотя здесь не во всем действует математика сочетаний. Сложным является информационный стоп-кадр, совмещающий некоторые параметры схемы (рис. 2).



Рис. 2. Интерпретации сложности информационного стоп-кадра

Под сложностью будем понимать свойство элемента информационного стоп-кадра, взятого в отношении к тому множеству, где он выступает как множество, а простое — свойство такого множества, которое взято к другому множеству и выступающее в нем как элемент. Исходя из этого определим сложность информационного стоп-кадра.

Сложность состава информационного стоп-кадра сводится к количеству всех элементов информационного стоп-кадра, сложность структуры может трактоваться как количество подструктур, т. е. расцениваться как *полиструктурность*, сложность организации сводится к сложности всех аспектов организации, а сложность

функций — к *полифункциональности*. Отсюда к сложным информационным стоп-кадрам будем относить *многосоставные* информационные стоп-кадры. Состав этих информационных стоп-кадров выступает в виде большого множества, нередко открытого. А сложными информационные стоп-кадры с точки зрения остальных показателей выступают соответственно *полиструктурные, полифункциональные, сложноорганизованные и многоуровневые* *распознаваемые объекты*.

Информация представляет собой модель развития (движения) истин. Информация — это единая мера упорядоченности движения, пригодная для оценки любых его форм, начиная от механических перемещений элементарных истин (частиц) в пространстве и кончая процессами развития самых сложных истин (систем).

Восприятие — это активный процесс извлечения информации об окружающем мире, включающий в себя реальные действия по обследованию того, что воспринимается. Понятое таким образом восприятие презентует субъекту те свойства внешнего мира, которые соотносятся с потребностями субъекта и выражают возможности его деятельности в данной реальной ситуации. Согласно У. Найссеру, извлечение информации происходит на основе имеющихся у субъекта схем различных предметов и мира в целом. Большинство из этих схем приобретается в процессе опыта, но есть и исходные схемы, которые являются врождёнными. Подобные идеи были высказаны также представителями когнитивной психологии, которые полагают, что восприятие — это процесс категоризации воспринимаемого, то есть отнесения воспринимаемых предметов к тому или иному классу (категории) объектов, начиная с таких категорий как стол или дерево и заканчивая такими как предмет, причинность и т. д. Некоторые из этих категорий являются продуктом опыта, другие являются врождёнными.

Ряд психологов продолжает рассматривать восприятие как синтез ощущений, при этом ощущения трактуются как возникающие в результате непосредственно чувственного познания субъективные переживания силы, качества, локализации и других характеристик воздействия стимулов на органы чувств. Воспринимаемая субъектом информация отражается в его сознании непрерывной совокупностью (информационных) стоп-кадров.

Соответствие – соответствием между множествами X и Y называется подмножество $Q \subseteq X \times Y$.

Объясним это определение. Рассмотрим два множества X и Y . Элементы этих двух множеств могут каким-либо образом сопоставляться друг с другом, образуя пары (x, y) . Если способ такого сопоставления определен, т. е. для каждого элемента $x \in X$ указан элемент $y \in Y$, с которым сопоставляется элемент x , то говорят, что между множествами X и Y установлено соответствие.

Отображение. Пусть X и Y — некоторые множества и $\Gamma \subseteq X \times Y$, причем $\text{Pr}_1 \Gamma = X$. Тройка множеств (X, Y, Γ) определяет некоторое соответствие, обладающее, однако, тем свойством, что его область определения $\text{Pr}_1 \Gamma$ совпадает с областью отправления, т. е. X , и, следовательно, это соответствие определено всюду на X . Другими словами, для каждого $x \in X$ существует $y \in Y$, так что $(x, y) \in \Gamma$. Такое всюду определенное соответствие называется *отображением* X в Y , и записывается как

$$\Gamma: X \rightarrow Y$$

Будем считать, что каждому элементу $x \in X$ отображение Γ ставит в соответствие некоторое подмножество

$$\Gamma x \subseteq Y,$$

называемое образом элемента x . Закон, в соответствии с которым осуществляется соответствие, определяется множеством Γ .

Отображение типа $X \rightarrow X$ называют *преобразованием* множества X .

Функцией называется функциональное соответствие. Если функция f устанавливает соответствие между множествами A и B , то говорят, что функция f имеет тип $A \rightarrow B$ (обозначение $f: A \rightarrow B$). Каждому элементу a из своей области определения функция f ставит в соответствие единственный элемент b из области значений. Это обозначается хорошо известной записью $f(a) = b$. Иногда, если это не вызывает неудобств, используют обозначения fa или af . Элемент a называется *аргументом* функции, b — *значением* функции на a . Если $f(A)$ состоит из единственного элемента, то f называется функцией-константой.

Отношение. Многие задачи в теории истин и информации удобно интерпретировать на языке теории отношений. Так, отношение между элементами двух множеств, т.е. *бинарные отношения* устанавливают

соответствие элементов одного множества X элементам другого множества Y . Такое отношение может быть задано некоторой совокупностью *упорядоченных пар* (x, y) , которые являются элементами множества $X \times Y$. Подмножество $R \subseteq M^n$ называется *n -местным отношением* на множестве M . Говорят, что a_1, \dots, a_n находятся в отношении R , если $(a_1, \dots, a_n) \in R$. Одноместное отношение — это просто подмножество M . Такие отношения называют *признаками*: a обладает признаком R , если $a \in R$ и $R \subseteq M$. Свойства одноместных отношений — это свойства подмножеств M ; поэтому для случая $n = 1$ термин «отношение» употребляется редко.

Инвариантные отношения определяют отношения классов истин, т.е. классификацию подмножеств истин основного множества.

Отношения делятся на различные виды в зависимости от того, обладают или не обладают они некоторыми свойствами.

Рассмотрим шесть основных свойств отношений. При описании этих свойств будем считать, что x, y и z — любые элементы из множества X .

Рефлексивность: xGx — истинно; антирефлексивность: xGx — ложно;
симметричность: $xGy \rightarrow yGx$; антисимметричность: xGy и $yGx \rightarrow x=y$;
несимметричность: если xGy — истинно, то yGx — ложно;
транзитивность: xGy и $yGz \rightarrow xGz$.

Преобразование (в математике) — замена одного математического объекта (геометрической фигуры, алгебраической формулы, функции и др.) аналогичным объектом, получаемым из первого по определенным правилам. Например, заменяя алгебраическое выражение x^2+4x+4 выражением $(x+2)^2$, совпадающим с ним при всех значениях переменной x , делают тождественное алгебраическое преобразование. В геометрии рассматриваются преобразования, переводящие одну фигуру в другую, напр. преобразования движения, подобия, проектирования и т. д.

В общей теории истин и информации выделим базовые группы образований, которые будем изучать в настоящей работе. К этим видам образований относятся:

- реальная действительность
- истина,
- отражение истины,
- информация,

- восприятие информации,
- соответствие,
- отображение информации,
- функциональное отображение информации,
- преобразование информации,
- информационное сведение,
- информационное сообщение ,
- фиксация информации (на носителях)
- передача (транспортирование, коммуникация) информации
- автоматизированная информационная система.

Основой классической концепции истины является принцип соответствия отражения истины реальной действительности. Действительность в нашем понимании представляется очень широко. Это не только объективная реальность внешнего мира, но и любая область мыслительной деятельности, в том числе и теоретические области рассуждения. Исследования показали возможность применения классической концепции истины к любым мыслимым мирам, но в этом случае она должна быть уточнена следующим образом. **Знание является истинным, если оно прежде всего формально корректно.** А под формальной корректностью разумеют непротиворечивость того мира, к которому относится данное знание. Непротиворечивость делает возможным осуществление мыслительной деятельности по отношению к мыслимым мирам, какими бы они по своей природе ни были.

Для классической концепции истины характерны следующие принципы:

- действительность не зависит от мира знания;
- между нашими мыслями и действительностью можно установить однозначное соответствие;
- существует критерий установления соответствия мыслей действительности;
- сама теория соответствия логически непротиворечива.

Классическая концепция истины столкнулась со значительными трудностями. Первая из них была связана с понятием действительности. Чтобы иметь возможность сопоставлять знание с действительностью, мы должны быть уверены в подлинности последней. Но как раз этой уверенности мы не имеем. Почему? Потому

что мы сравниваем наше знание не с самой действительностью, а с нашим восприятием ее, с фактами, которые могут быть обозначены как мир опыта. Но эти факты не могут быть независимы от наших познавательных способностей, как, впрочем, и сам мир знания. **Фактический, опытный мир - это концептуально осмысленный и "пропущенный" через наше сознание мир. Существуют такие области познания, в которых действительность полностью зависит от субъекта, моделируется им, например, в математике или в квантовой механике.**

Далее следует уточнить само понятие соответствия. Для этого нужно учесть, что отношения между мыслями и действительностью не носят характер простого соответствия. **Мысль - не копия действительности, а сложное идеальное образование, имеющее многоуровневую структуру.** Столь же сложную структуру имеет внутреннее содержание языковых выражений, фиксирующих мысли. Слово предназначено для обозначения предметов и явлений, для описания внутренних характеристик рассматриваемых предметов, для утверждения или отрицания определенных свойств, для выражения отношения человека к мыслимому миру, в слове невольно отражаются субъективные особенности конкретного человека, его характер, темперамент и пр. Как в этом случае используется классическая концепция истины? Достаточно очевидно, что прямое проведение принципа соответствия может и не привести к успеху. Поэтому стали накладывать ограничения на те выразительные средства, при помощи которых мысли фиксируются в языке. В частности, утверждается, что не любая мысль может быть оценена с точки зрения ее истинности, а только определенная форма мышления, а именно: суждение, выражаемое в языке повествовательными предложениями, т.е. классическая концепция истины при ее обосновании подстраивается под структуру искусственных языков, одним из которых является **формализованный логический язык. Истина стала свойством повествовательных предложений, которые лишь описывают мысленное содержание.** Если это мысленное содержание соответствует действительному положению дел, то предложение считается истинным. Обратим внимание на очень важный момент, связанный с распространением структуры искусственных языков логики на науку. Поскольку в науке реально и без всяких сомнений существуют теории, концепции, гипотезы, которые тоже необходимо оценивать, то, чтобы использовать и в этом случае классическую концепцию истины, поступили очень просто: **теорию стали понимать как множество**

предложений, к каждому из которых может быть применен определенный метод проверки его истинности. Поэтому и теория, являясь совокупностью логически связанных предложений, получала в конце концов истинностную оценку (то или иное значение истинности).

Заметим, что классическая концепция истины имеет интуитивные истоки. Ее эмпирическим основанием является здравый смысл, обыденное мнение: мысль является истинной, если она соответствует эмпирически наблюдаемому положению дел. Расширение понятия действительности разрушало соответствие, лишало его чувственной наглядности, "подсказывало", что данная концепция обладает существенным недостатком. Но отказаться от нее совсем не представлялось возможным. Поэтому столь упорно трудности этой концепции пытались решить за счет **обоснования и уточнения понятий соответствия и действительности**. Соответствие мыслей действительности является необходимым условием принятия классической концепции истины, но еще не достаточным. Нужно знать метод установления соответствия, типы высказываний, к которым применима эта концепция, и область применения методов, т.е. тип действительности.

Трудности классической концепции истины еще более очевидны на фоне обнаруженных в ней логических парадоксов. Один из самых известных и древних из них - парадокс лжеца. Допустим, что кто-то о себе самом утверждает "Я лгу". С одной стороны, он описывает действительный факт своего неискреннего поведения, т.е. данное высказывание является истинным. А с другой стороны, по содержанию оно утверждает ложь, приписывает субъекту данного суждения (Я) свойство высказывать ложь. Тогда и получается, что высказывание "Я лгу" - истинно.

Рассмотрим шуточную модификацию парадокса лжеца, известную под именем Брадобрей. Представьте себе маленький городок с единственной парикмахерской, в которой работает всего лишь один парикмахер. Мэр города, заботясь о внешнем виде своих граждан и их благосостоянии, издает указ: "Все мужчины города не имеют права отращивать бороды и бриться сами, а должны бриться только у парикмахера. Граждане, нарушающие этот указ, обязаны покинуть город". Через некоторое время мэр с удивлением обнаружил, что парикмахер переехал в другой город. Почему он так поступил? Да потому, что указ мэра относился и к самому парикмахеру. Как житель данного города, он не имел права отращивать бороду и брить самого себя.

В обоих приведенных примерах мы, пользуясь законами логики (в частности, законом непротиворечия), приходим к выводу об их нарушении.

При каких условиях возникают парадоксы? Одно из самых последних объяснений этого феномена опирается на исследования природы языка и законов логики. Было обнаружено, что, с одной стороны, **язык является системой, предоставляющей средства для описания действительности и осуществления по отношению к ней мыслительных операций, т.е. такой системой, которая как бы направлена на внеязыковую реальность. Но с другой стороны, язык содержит средства для описания и оценки своих собственных сущностей.** Такое свойство естественного языка было названо **семантической замкнутостью языка.** Данное свойство вместе с законами логики и составляют условия, при которых возникают парадоксы. Как оказалось, в **естественном языке нельзя пользоваться семантическими оценочными понятиями (истина, ложь, доказуемо, опровержимо и пр.) без противоречий.**

Поскольку об изменении законов логики никто не помышляет, то все предложения по поводу решения парадоксов сводились к рекомендациям относительно языка. Было предложено построение **особых искусственных языков (чтобы по крайней мере обезопасить от парадоксов научные языки), в которых насчитывалось бы минимально два уровня: язык-объект (предоставляет средства для описания внелингвистической действительности) и метаязык, в котором, и только в нем, могут быть точным способом заданы семантические средства описания языка-объекта.** И самое главное, именно в метаязыке может быть выражена сущность классической концепции истины - схема истинности, представляющая условия истинности любого высказывания языка: **X есть истинное высказывание тогда, когда $p = X$,** где: X- имя высказывания (о его свойстве "быть истинным" идет речь), а p - само высказывание (оно описывает и относится к конкретной ситуации). **Истинными тогда окажутся высказывания, соответствующие описываемой в p ситуации, а ложными - не соответствующие,** что, собственно, и является минимальным **требованием для принятия классической концепции истины.** Заметим, что данный подход не является какой-либо новой теорией истины, а представляет собой модификацию и уточнение старого, можно даже сказать древнего, **понимания истины как соответствия действительности.**

По отношению к этой схеме материальная адекватность как основная характеристика классической концепции истины будет

означать, что имеются средства для установления истины или лжи любого высказывания, которое только может быть подставлено в эту схему. Очевидно, что данное требование во всей своей полноте выполнимо лишь по отношению к искусственным языкам, а противоречивость и парадоксальность естественного языка принципиально устранить нельзя.

Все иные попытки избавиться от трудностей классической концепции истины опирались на замену понятия истины полезностью (знание является истинным, если оно практически полезно), логической непротиворечивостью (знание является истинным, если оно логически непротиворечиво), всеобщим согласием на основе договора, привычкой и пр. и оказались теоретически несостоятельными, потому что вели к отказу от естественного употребления нашего языка и от обычного предназначения мыслительной деятельности - быть средством общения между людьми и описания действительности.

1.2. Семантическая концепция истины и основания семантики

Рассмотрим кратко результаты исследований А. Тарского, связанные с определением истины и с более общей проблемой оснований семантики.

1.2.1. Главная проблема — удовлетворительное определение понятия истины

Направим данное обсуждение на понятие истины. Главная проблема заключается в том, чтобы дать удовлетворительное определение этого понятия, т. е. такое определение, которое материально адекватно и формально корректно. Однако вследствие своего общего характера такая формулировка проблемы не может считаться достаточно точной и требует некоторых пояснений.

Дабы избежать двусмысленность необходимо прежде всего уточнить условия, при выполнении которых **определение истины будет считаться адекватным с материальной точки зрения.** Задача требуемого определения заключается не в том, чтобы уточнить значение известного термина, используемого для обозначения

некоторого нового понятия, напротив, оно должно выразить реальное значение старого понятия. Поэтому желательно охарактеризовать это понятие настолько точно, чтобы всякий мог установить, выполняет определение свою задачу или нет.

Во-вторых, необходимо указать те **средства**, от которых зависит формальная корректность требуемого определения. Таким образом, **следует сформулировать те слова или понятия, которые хотим использовать в определении понятия истины, а также указать формальные правила, которым оно должно соответствовать.** Иначе говоря, нам нужно описать формальную структуру того языка, в котором будет дано определение.

1.2.2. Объем понятия «истинно».

Мы начнем с некоторых замечаний относительно объема того понятия истины, которое мы здесь имеем в виду.

Предикат «истинно» иногда используется для указания на психологические моменты, такие как убеждения или верования, порой его относят к **определенным физическим объектам** — языковым выражениям, в частности, к предложениям, а в некоторых случаях его приписывают определенным идеальным сущностям, называемым «суждения». Под «предложением» мы понимаем здесь то, что обычно в грамматике подразумевают под «повествовательным предложением». Что же касается термина «суждение», то его значение, как хорошо известно, является предметом длительных споров между философами и логиками и, по-видимому, никогда не будет достаточно ясным и определенным. По самым разным причинам представляется наиболее удобным применять термин «истинно» к предложениям и мы будем этому следовать.

Таким образом, **понятие истины, как и понятие предложения, мы должны всегда связывать с определенным языком**, поскольку очевидно, что одно и то же выражение, являющееся истинным предложением в одном языке, может оказаться ложным или даже бессмысленным в другом языке.

Конечно, тот факт, что здесь нас прежде всего интересует понятие истины для предложений, не исключает возможности последующего

расширения сферы применимости этого понятия на другие виды объектов.

1.2.3. Значение термина «истинно».

Гораздо более серьезные трудности связаны с проблемой значения (интенционала) понятия истины.

Как и другие слова нашего повседневного языка, **слово «истинно» является многозначным.** И философы, обсуждавшие это понятие, отнюдь не уменьшили его многозначности. В сочинениях и дискуссиях философов мы встречаем множество различных концепций истины и лжи, поэтому следует указать ту концепцию, которая будет базисом данного анализа.

Попытаемся связать данное определение с интуициями, закрепленными в классической аристотелевской концепции истины и выраженными в хорошо известном отрывке из «Метафизики» Аристотеля: «Сказать, что существующее не существует или что несуществующее существует, значит высказать ложь, сказать же, что существующее существует, а несуществующее не существует, значит высказать истину». Если воспользоваться современной философской терминологией, то эту концепцию можно было бы выразить известной формулой:

«Истинность предложения состоит в его согласии с реальностью (или в соответствии ей)». (Теория истины, опирающаяся на последнюю формулировку, называется «теорией соответствия»).

С другой стороны, если бы теперь мы решили расширить распространенное употребление термина «десигнат» и связывать его не только с именами, но также и с предложениями, и если бы под десигнатами предложений мы договорились понимать **«положения дел»**, то упомянутую выше формулу можно выразить следующей фразой: **«Предложение истинно, если оно обозначает существующее положение дел».**

Однако все эти формулировки способны приводить к различным недоразумениям, так как ни одна из них не является достаточно точной и ясной (хотя этот упрек в гораздо меньшей степени относится к

первоначальной формулировке Аристотеля). Во всяком случае ни одна из них не может считаться удовлетворительным определением истины. Это вынуждает нас искать более точного выражения наших интуиций.

1.2.4. Критерий материальной адекватности искомого определения

Начнем с конкретного примера. Рассмотрим предложение «Клубника красная». Мы задаемся вопросом: при каких условиях это предложение истинно или ложно? Представляется очевидным, что если мы опираемся на классическую концепцию истины, то должны сказать, что данное предложение истинно, если клубника красная, и ложно, если клубника не красная. Таким образом, если определение истины соответствует нашей концепции, то из него должна следовать эквивалентность: «Предложение «Клубника красная» истинно тогда и только тогда, когда клубника красная».

Обратим внимание на то, что фраза «Клубника красная» в левой части этой эквивалентности стоит в кавычках, а в правой части — без кавычек. В правой части стоит само предложение, а в левой части — имя этого предложения. Используя средневековую логическую терминологию, мы могли бы сказать, что в правой стороне слова «клубника красная» употребляются в формальной суппозиции, а в левой стороне — в материальной суппозиции. Вряд ли нужно объяснять, почему в левой части эквивалентности нам требуется имя предложения, а не само предложение. Во-первых, с точки зрения грамматики нашего языка выражение вида «X истинно» не будет осмысленным предложением, если мы в нем «X» заменим предложением или чем-то иным, также отличным от имени, ибо **субъектом предложения может быть только имя существительное или выражение, выполняющее функции существительного**. Во-вторых, фундаментальные соглашения относительно использования любого языка требуют, чтобы в высказывании о каком-либо объекте использовалось **имя этого объекта, а не он сам**. Следовательно, **если мы хотим что-то сказать относительно какого-то предложения, например, что оно истинно, мы должны использовать имя этого предложения, а не само предложение**.

К этому можно добавить, что заключение некоторого предложения в кавычки вовсе не является единственным способом образования его имени. Например, предполагая обычный порядок букв в нашем

алфавите, мы можем в качестве имени (описания) предложения «снег бел» использовать следующее выражение:

«Предложение, состоящее из двух слов, первое из которых составлено из 17-й, 13-й, 6-й и 4-й букв, а второе — из 2-й, 6-й и 11-й букв русского алфавита».

Теперь мы можем обобщить эту процедуру. Рассмотрим произвольное предложение, которое представим буквой «р». Образует имя этого предложения и представим его другой буквой, скажем «Х». Теперь мы спрашиваем: каково логическое отношение между двумя предложениями — «Х истинно» и «р»? Ясно, что с точки зрения нашей исходной концепции истины эти предложения эквивалентны. Иными словами, справедлива следующая эквивалентность:

(Т) Х истинно тогда и только тогда, когда р.

Любую такую эквивалентность (в которой «р» представляет какое-либо предложение того языка, к которому относится слово «истинно», а «Х» представляет имя этого предложения) мы будем называть «эквивалентностью вида Т».

Теперь можно в точной форме выразить те условия, при которых употребление и определение термина «истинно» будет считаться адекватным с материальной точки зрения: **термин «истинно» мы хотим употреблять таким образом, чтобы можно было утверждать все эквивалентности вида Т, и определение истины мы будем называть «адекватным», если из него следуют все эти эквивалентности.**

Следует подчеркнуть, что ни само выражение Т (которое является не предложением, а лишь схемой предложения), ни любой конкретный пример вида Т нельзя рассматривать в качестве определения истины. Можно сказать лишь, что каждая эквивалентность вида Т, полученная посредством замены «р» каким-либо конкретным предложением, а «Х» — именем этого предложения, может рассматриваться как частное определение истины, разъясняющее, в чем состоит истинность этого конкретного предложения. **Общее определение истины должно быть, в некотором смысле, логической конъюнкцией всех этих частных определений.**

(Последнее замечание нуждается в некоторых комментариях. Язык может позволять строить бесконечно много предложений, поэтому число частных определений истины для предложений такого языка также будет бесконечным. Таким образом, для того чтобы придать этому замечанию точный смысл, следовало бы разъяснить, что имеется в виду под «логической конъюнкцией бесконечного множества предложений», однако это увело бы нас слишком далеко в технические проблемы современной логики.)

1.2.5. Истина как семантическое понятие

Для рассмотренной концепции истины предложим название «семантическая концепция истины».

Семантика есть дисциплина, которая, вообще говоря, имеет дело с определенными отношениями между выражениями языка и объектами (или «положениями дел»), к которым «относятся» эти выражения. В качестве типичных примеров семантических понятий можно указать понятия обозначения, выполнимости и определения, встречающиеся в следующих примерах:

выражение «отец нации» обозначает Джорджа Вашингтона;

клубника выполняет пропозициональную функцию (условие) «х красная»;

уравнение « $2 \cdot x = 1$ » определяет (точно задает) число $\frac{1}{2}$.

В то время как слова «**обозначает**», «**выполняет**» и «**определяет**» выражают **отношения** (между определенными выражениями и объектами, на которые «ссылаются» эти выражения), слово «**истинно**» обладает иной логической природой: оно **выражает свойство (или обозначает класс) определенных выражений, а именно предложений**. Тем не менее, нетрудно заметить, что все формулировки, которые были даны выше и имели цель разъяснить значение этого слова (см. разделы 1.2.3 и 1.2.4), **говорили не только о самих предложениях, но также об объектах**, о которых шла речь в этих предложениях, или, быть может, о «положениях дел», описываемых ими. Кроме того, наиболее простым и естественным способом **построения точного определения истины оказывается**

тот, который опирается на использование семантических понятий, в частности, понятие выполнимости. Именно по этим причинам понятие истины будем причислять к понятиям семантики, а проблема определения истины оказывается тесно связанной с более общей проблемой установления оснований теоретической семантики.

Следует сказать о том, что семантика — как она понимается А. Тарским нами — есть сдержанная и скромная дисциплина, которая вовсе не претендует на то, чтобы быть панацеей от всех бед и несчастий человечества — воображаемых или реальных. В семантике невозможно найти лекарства от зубной боли, мании величия или классовых конфликтов. Семантика также не дает средств для доказательства того, что все, за исключением говорящего и его друзей, несут чушь.

Со времен античности до наших дней понятия семантики играли важную роль в рассуждениях философов, логиков и филологов. Тем не менее, в течение долгого времени к этим понятиям относились с некоторым подозрением. С точки зрения истории, это подозрение следует считать вполне оправданным. **Несмотря на то, что в повседневном языке значения семантических понятий представляются достаточно ясными и понятными, все попытки выразить эти значения общим и точным способом оказывались безуспешными.** Еще хуже то, что многие рассуждения, включавшие в себя эти понятия и казавшиеся вполне корректными и опирающимися на, казалось бы, очевидные предпосылки, часто приводили к парадоксам и антиномиям. Достаточно указать здесь на антиномию лжеца, антиномию определмости (посредством конечного числа слов) Ришара и антиномию гетерологических терминов Греллинга-Нельсона.

Будем надеяться, что метод А Тарского, набросок которого дан в настоящей работе, поможет преодолеть эти трудности и обеспечит возможность непротиворечивого употребления семантических понятий.

1.2.6. Языки с точно заданной структурой

Благодаря возможному появлению антиномий остро встает проблема точного описания формальной структуры и словаря того языка, в

котором должны быть даны определения семантических понятий. Обратимся теперь к этой проблеме.

Существуют некоторые общие условия, при выполнении которых структура некоторого языка считается точно заданной. Так, чтобы точно описать структуру языка, следует однозначно охарактеризовать класс тех слов и выражений, которые должны считаться осмысленными. В частности, необходимо указать все слова, которые решили употреблять без их предварительного определения и которые называются «неопределяемыми (или «исходными») терминами». Следует также задать так называемые правила определения для введения новых, или определяемых, терминов. Кроме того, следует сформулировать критерии, позволяющие в классе всех возможных выражений выделять те, которые мы называем «предложениями». И, наконец, мы должны сформулировать условия, при которых можно утверждать некоторое предложение языка. В частности, нужно указать все **аксиомы (или исходные предложения), т. е. те предложения, которые утверждаются без доказательства**, и задать так называемые **правила вывода (или правила доказательства)**, посредством которых из ранее принятых предложений можно дедуцировать новые предложения. Аксиомы и предложения, полученные из них посредством правил вывода, называются «**теоремами**» или «**доказуемыми предложениями**».

Если при описании структуры языка мы говорим только о форме его выражений, такой язык называется **формализованным**. **Утверждаемыми предложениями в нем являются только теоремы.**

Единственными языками с точной структурой в настоящее время являются формализованные языки различных систем дедуктивной логики, иногда обогащенные за счет введения некоторых внелогических терминов. Однако область применения этих языков достаточно обширна, ибо мы способны, теоретически, описать в них различные области науки, например, математику и теоретическую физику. (С другой стороны, можно представить себе языки с точно заданной структурой, но неформализованные. В таких языках утверждение предложений, например, может зависеть не только от их формы, но и от других, внелингвистических факторов. Было бы важно построить язык такого типа, который оказался бы достаточно богатым для изложения обширной области эмпирической науки. Это послужило

бы оправданием надежды на то, что языки с точной структурой в конце концов заменят повседневный язык в научных рассуждениях.)

Проблема определения истины приобретает точный смысл и может быть решена строгим образом только для таких языков, структура которых точно задана. Для других языков, следовательно для всех естественных, «разговорных» языков, смысл этой проблемы является не вполне ясным, и ее решение может носить лишь приблизительный характер. Грубо говоря, эта приблизительность заключается в замене естественного языка (или интересующей нас части его) **языком с точно заданной структурой**, который отличается от данного языка «так мало, как это возможно».

1.2.7. Антиномия лжеца

Для того чтобы обнаружить некоторые более специфические условия, выполняемые языками, в которых (или для которых) должно быть сформулировано определение понятия истины, начнем с обсуждения той антиномии, которая прямо включает в себя это понятие, а именно антиномии лжеца.

Для того чтобы получить эту антиномию в ясной форме, рассмотрим следующее предложение: «Предложение, напечатанное в этой статье на стр. ... , строка ..., — неистинно». Для краткости заменим это предложение буквой «s». В соответствии с нашим соглашением относительно адекватного употребления термина «истинно» мы утверждаем следующую эквивалентность вида T:

(1) «s» истинно тогда и только тогда, когда предложение, напечатанное в этой статье на стр. ... , строка ... , неистинно.

С другой стороны, помня о значении символа «s», мы эмпирически устанавливаем следующий факт:

(2) «s» тождественно предложению, напечатанному в этой статье на стр. ... , строка ...».

Теперь, благодаря известному закону теории тождества (закон Лейбница), из (2) следует, что в эквивалентности (1) выражение

«предложение, напечатанное в этой статье на стр. ..., строка ...» мы можем заменить символом «s». Таким образом, мы получаем:

(3) «s» истинно тогда и только тогда, когда «s» неистинно.

Мы пришли к очевидному противоречию.

Представляется, что с точки зрения научного прогресса было бы ошибочно и чрезвычайно опасно преуменьшать значение этой и других антиномий и рассматривать их как простые шутки или софизмы. Мы действительно сталкиваемся здесь с абсурдом, действительно вынуждены утверждать ложное предложение (поскольку (3), будучи эквивалентностью двух противоречащих друг другу предложений, необходимо ложно). Если мы серьезно относимся к своей работе, мы не можем смириться с этим фактом. Мы должны обнаружить его причину, т. е. должны рассмотреть предпосылки, на которые опирается антиномия, и отвергнуть по крайней мере одну из них, а затем проанализировать следствия, к которым это приводит для всей области нашего исследования.

Следует подчеркнуть, что антиномии играли важную роль в установлении основоположений современных дедуктивных наук. И как теоретико-множественные антиномии, в частности антиномия Рассела (связанная с понятием множества всех множеств, несодержащих себя в качестве собственного элемента), послужили исходным пунктом успешного продвижения к непротиворечивой формализации логики и математики, так антиномия лжеца и другие семантические антиномии дают толчок к построению теоретической семантики.

1.2.8. Противоречивость семантически замкнутых языков

Анализируя предпосылки, приводящие к антиномии, замечаем следующее:

(I) Неявно допускаем, что язык, в котором построена эта антиномия, в дополнение к своим выражениям содержит также имена этих выражений и семантические термины, например, термин «истинно», относящийся к предложениям этого языка. Допускаем также, что все предложения, задающие адекватное употребление этого термина,

могут быть сформулированы в нашем языке. Языки, обладающие такими свойствами, будем называть «семантически замкнутыми».

(II) Предполагаем, что в этом языке действуют обычные законы логики.

(III) Предполагаем, что в этом языке можно формулировать и утверждать эмпирические посылки типа утверждения (2), входящего в наше рассуждение.

Оказывается, что предположение (III) не является существенным, так как можно построить антиномию лжеца без его помощи. Но предположения (I) и (II) существенны. И поскольку каждый язык, удовлетворяющий обоим этим предположениям, является противоречивым, следует отбросить по крайней мере одно из них.

Было бы излишним рассматривать здесь следствия отбрасывания предположения (II), т. е. следствия изменения нашей логики (если это вообще возможно) хотя бы в наиболее элементарных и фундаментальных ее частях. Поэтому рассмотрим только одну возможность — отказ от предположения (I). Примем решение не пользоваться языком, который семантически замкнут в указанном выше смысле. Конечно, это ограничение неприемлемо для тех, кто убежден в том, что существует только один «подлинный» язык (или что все «подлинные» языки взаимно переводимы). Однако это ограничение никоим образом не затрагивает потребностей или интересов науки. Языки (будь то формализованные языки или — что случается гораздо чаще — фрагменты повседневного языка), используемые в научных рассуждениях, не обязаны быть семантически замкнутыми. Это очевидно для лингвистических феноменов, в частности, семантические понятия никоим образом не включаются в содержание науки. Однако в следующем разделе мы увидим, каким образом можно избежать семантической замкнутости даже в тех научных рассуждениях, для которых существенно использование семантических понятий.

Встает вопрос: как с этой точки зрения обстоит дело с повседневным языком? На первый взгляд может показаться, что этот язык удовлетворяет обоим предположениям (I) и (II) и, следовательно, должен считаться противоречивым. Однако в действительности все обстоит не так просто. Повседневный язык не является языком с точно

заданной структурой. Мы не знаем в точности, какие выражения являются предложениями, и еще меньше знаем о том, какие предложения можно утверждать. Поэтому проблема непротиворечивости относительно этого языка не имеет точного смысла. Мы можем лишь рискнуть высказать предположение: язык, структура которого была бы точно задана и который был бы максимально близок к естественному языку, по-видимому, был бы непротиворечивым.

1.2.9. Объектный язык и метаязык

Поскольку мы решили не пользоваться семантически замкнутыми языками, постольку при обсуждении проблемы определения истины и вообще любых проблем из области семантики мы должны использовать **два разных языка**. Первый из них есть язык, который «о чем-то говорит» и который является предметом всего нашего обсуждения, ибо искомое определение истины как раз и применяется к предложениям этого языка. Второй язык — тот, в котором мы «говорим о» первом языке и в терминах которого мы хотим, в частности, построить определение истины для первого языка. **Первый язык мы будем называть «объектным языком», а второй — «метаязыком».**

Следует отметить, что термины «объектный язык» и «метаязык» являются лишь относительными. Если, например, нас интересует понятие истины, применимое к предложениям не нашего первоначального объектного языка, а его метаязыка, то последний автоматически становится объектным языком нашего обсуждения, и чтобы определить истину для этого языка, мы должны перейти к новому метаязыку, так сказать, к метаязыку более высокого уровня. Так мы приходим к целой иерархии языков.

Словарь метаязыка в значительной степени детерминирован точно сформулированными условиями материальной адекватности определения истины. Как мы помним, из этого определения должны следовать все эквивалентности вида Т:

(Т) «Х истинно тогда и только тогда, когда р».

Само определение и все вытекающие из него эквивалентности должны быть сформулированы в метаязыке. В то же время, символ «р» в

эквивалентности вида Т представляет произвольное предложение объектного языка. Отсюда следует, что **каждое предложение, встречающееся в объектном языке, должно входить также в метаязык, иными словами, метаязык должен содержать объектный язык как свою часть.** Во всяком случае, это необходимо для доказательства адекватности определения, хотя само определение иногда может формулироваться в менее богатом метаязыке, невыполняющем этого требования. (Обсуждаемое требование можно несколько модифицировать, так как достаточно потребовать, чтобы объектный язык был переводим в метаязык. Это приводит к определенному изменению интерпретации символа «р» в эквивалентности Т. В дальнейшем мы не будем принимать во внимание возможность этой модификации.)

Символ «Х» в эквивалентности Т представляет имя того предложения которое представлено символом «р». Отсюда можно увидеть, что метаязык должен быть достаточно богат для того, чтобы в нем можно было построить имя для любого предложения объектного языка.

Наконец, метаязык должен содержать термины общелогического характера, такие как выражение «тогда и только тогда, когда».

Желательно, чтобы метаязык не включал в себя каких-либо неопределяемых терминов, за исключением тех, которые явно или неявно были указаны выше: **термины объектного языка; термины, относящиеся к форме выражений объектного языка и используемые для образования их имен; и термины логики.** В частности, мы хотим, чтобы **семантические термины (говорящие об объектном языке) вводились в метаязык только посредством определений.** Если этот постулат выполнен, определение истины или любого другого семантического понятия будет выполнять то, чего мы интуитивно ожидаем от любого определения: **значение определяемого термина оно будет объяснять в таких терминах, значение которых представляется совершенно ясным и недвусмысленным.** Кроме того, мы получим некоторые гарантии относительно того, что использование семантических понятий не приводит нас к каким-либо противоречиям.

Нет никаких дальнейших требований к формальной структуре объектного языка и метаязыка, мы предполагаем, что они похожи на другие формализованные языки, известные к настоящему времени. В

частности, мы предполагаем, что в метаязыке соблюдаются обычные формальные правила определения.

1.2.10. Условия позитивного решения главной проблемы

Теперь мы имеем ясное представление и об условиях материальной адекватности определения истины, и о формальной структуре языка, в котором должно быть сформулировано это определение. В этих обстоятельствах проблема определения истины приобретает характер четкой и чисто дедуктивной проблемы. Однако само решение проблемы никоим образом не очевидно, и его сложно сформулировать во всех деталях, не обращаясь к аппарату современной логики. Здесь ограничимся кратким изложением этого решения и обсуждением некоторых моментов, связанных с ним и имеющих более общий интерес. Решение оказывается иногда положительным, а иногда отрицательным. Это зависит от некоторых формальных отношений между объектным языком и его метаязыком или, говоря более конкретно, от того, является ли метаязык в своей логической части «существенно богаче» объектного языка или нет. Сложно сформулировать общее и точное определение понятия «быть существенно богаче». Если мы ограничиваемся языками, опирающимися на логическую теорию типов, то «быть существенно богаче» для метаязыка означает содержать переменные более высокого логического типа, чем переменные объектного языка.

Если условие «быть существенно богаче» не выполнено, то обычно можно показать, что возможна интерпретация метаязыка в объектном языке. Это означает, что любому термину метаязыка можно сопоставить вполне определенный термин объектного языка, так что утверждаемые предложения одного языка оказываются соотносенными с утверждаемыми предложениями другого языка. В итоге рушится предположение о том, что в метаязыке можно сформулировать удовлетворительное определение истины, так как благодаря этой интерпретации оказывается возможным реконструировать антиномию лжеца. (Тот факт, что в своей внелогической части метаязык обычно шире объектного языка, не влияет на возможность интерпретации первого во втором. Например, в метаязык входят имена выражений объектного языка, хотя чаще всего они не встречаются в самом объектном языке, однако может существовать возможность интерпретировать эти имена в терминах объектного языка.)

Таким образом, видно, что условие «быть существенно богаче» является необходимым для удовлетворительного определения истины в метаязыке. Если же мы хотим сформулировать теорию истины в метаязыке, невыполняющем этого условия, то нам придется отказаться от идеи определить истину только с помощью тех терминов, которые были указаны выше (см. раздел 1.2.8). Тогда мы должны будем включить термин «истинно» или какой-либо иной семантический термин в список неопределяемых терминов метаязыка и выразить фундаментальные свойства понятия истины в ряде аксиом. В такой аксиоматической процедуре нет ничего существенно неверного и для некоторых целей она может оказаться полезной. Однако вовсе не обязательно использовать эту процедуру. Условие «быть существенно богаче» для метаязыка оказывается не только необходимым, но также и достаточным для построения удовлетворительного определения истины, т. е. если метаязык выполняет это условие, то понятие истины может быть определено в нем. Теперь мы покажем в самом общем виде, как может быть осуществлено это построение.

1.2.11. Построение (краткий очерк) определения

Определение истины можно довольно просто получить из определения другого семантического понятия — понятия выполнимости.

Выполнимость есть отношение между произвольными объектами и определенными выражениями, называемыми **пропозициональными функциями**. Это выражения типа «х красная», «х больше, чем у» и т. п. Их формальная структура аналогична структуре предложений, но они могут включать в себя так называемые свободные переменные (как «х» и «у» в выражении «х больше, чем у»), которые не могут входить в предложения.

При определении понятия пропозициональной функции для формализованных языков обычно пользуются «рекурсивным методом», т. е. сначала описывают пропозициональные функции простейшего вида (что, как правило, не встречает трудностей), а затем указывают операции, посредством которых из простых могут быть построены более сложные функции. Такой операцией может быть, например, образование логической дизъюнкции или конъюнкции двух данных функций, т. е. соединение их с помощью слов «или» либо «и».

Предложение теперь можно определить просто как

пропозициональную функцию, не содержащую свободных переменных.

Что касается понятия **выполнимости**, то определим его так: **данные объекты выполняют данную функцию, если последняя становится истинным предложением, когда свободные переменные в ней мы заменяем именами этих объектов.** В этом смысле, например, клубника выполняет пропозициональную функцию «х красная», так как предложение «клубника красная» истинно. Однако, даже оставляя в стороне другие трудности, мы не можем воспользоваться этим методом, поскольку хотим употребить понятие выполнимости для определения истины.

Для определения понятия выполнимости лучше вновь обратиться к рекурсивной процедуре. Сначала указываем, какие объекты выполняют простейшие пропозициональные функции, а затем формулируем условия, при которых данные объекты выполняют сложную функцию, предполагая при этом, что известно, какие объекты выполняют более простые функции, из которых построена сложная функция. Так, например, мы говорим, что данные числа выполняют логическую дизъюнкцию «х больше, чем у или х равно у», если они выполняют хотя бы одну из функций «х больше, чем у» или «х равно у». Как только получено общее определение выполнимости, мы тотчас же замечаем, что оно автоматически применимо также к тем особым пропозициональным функциям, которые не содержат свободных переменных, т. е. к предложениям. Выясняется, что для предложения возможны лишь **два случая: предложение выполняется либо всеми объектами, либо ни одним из них.** Отсюда получаем определение истинности и ложности: **предложение истинно, если оно выполняется всеми объектами, и ложно в противном случае.**

(Может показаться странным, что избран окольный путь определения истинности предложений вместо того, чтобы использовать, например, прямую рекурсивную процедуру. Причина заключается в том, что сложные предложения образуются из более простых пропозициональных функций, но не всегда из более простых предложений, поэтому неизвестен общий рекурсивный метод, применимый специально к предложениям.)

Из этого наброска не видно, где и как в рассуждение включается предположение о «большем богатстве» метаязыка. Это выясняется лишь при более детальном и формальном построении.

1.2.12. Следствия данного определения

Определение истины, набросок которого был дан выше, приводит ко многим существенным следствиям.

В первую очередь, это определение оказывается не только формально корректным, но также и материально адекватным (в смысле раздела 1.2.4), иными словами, из него следуют все эквивалентности вида Т. В этой связи важно заметить, что условия материальной адекватности единственным образом детерминируют объем термина «истина». Поэтому любое определение истины, которое материально адекватно, будет необходимо эквивалентно построенному выше. Семантическая концепция истины не дает возможности выбирать между различными неэквивалентными определениями этого понятия. Кроме того, из нашего определения мы можем дедуцировать различные законы общего характера. В частности, с его помощью можно доказать законы противоречия и исключенного третьего, столь важные для аристотелевской концепции истины, т. е. можно показать, что только одно из двух противоречащих друг другу предложений истинно. Эти семантические законы не следует отождествлять с родственными логическими законами противоречия и исключенного третьего. Последние принадлежат пропозициональному исчислению, т. е. наиболее элементарной части логики, и вообще не включают в себя термина «истинно».

Другие важные результаты можно получить, применяя теорию истины к формализованным языкам очень широкого класса математических дисциплин. Из этого класса исключаются лишь дисциплины элементарного характера и весьма элементарной логической структуры. Оказывается, что для дисциплин этого класса понятие истины никогда не совпадает с понятием доказуемости, так как хотя все доказуемые предложения истинны, однако существуют истинные предложения, которые недоказуемы. Отсюда вытекает, далее, **что каждая такая дисциплина непротиворечива, но неполна**. Это означает, что из любых двух противоречащих друг другу предложений доказуемо самое большее одно из них и существует пары

противоречащих друг другу предложений, ни одно из которых недоказуемо.

1.2.13. Распространение полученных результатов на другие семантические понятия

Большинство результатов, к которым мы пришли в предыдущем разделе при рассмотрении понятия истины, с соответствующими изменениями может быть распространено на другие семантические понятия, например на понятие выполнимости (включенное в предшествующие рассуждения), понятия обозначения и определения. Каждое из этих понятий можно анализировать тем же способом, который был использован при анализе истины. Так, можно сформулировать критерии адекватного употребления этих понятий; затем можно показать, что использование каждого из этих понятий в соответствии с данными критериями в семантически замкнутом языке необходимо приводит к противоречию; опять-таки неизбежным оказывается различие объектного и метаязыка и в каждом случае «существенное богатство» метаязыка является необходимым и достаточным условием удовлетворительного определения рассматриваемого понятия. Таким образом, результаты, полученные при анализе одного из семантических понятий, применимы к решению общей проблемы основоположений теоретической семантики.

В теоретической семантике мы можем определить и исследовать некоторые другие понятия, интуитивное содержание которых более сложно и чей семантический источник менее ясен. Мы имеем в виду, например, важные понятия следования, синонимии и значения.

Здесь мы занимались теорией семантических понятий, относящихся к отдельному объектному языку (хотя наша аргументация не учитывала никаких специфических свойств этого языка). Однако мы могли бы рассмотреть также проблему разработки общей семантики для обширного класса объектных языков. Значительную часть предыдущих рассуждений можно распространить также и на эту общую проблему, однако в этой связи возникают некоторые новые трудности, которые не будут рассматриваться здесь. Следовало бы лишь заметить, что аксиоматический метод (упомянутый в разделе 1.2.10) может оказаться наиболее пригодным для анализа именно этой проблемы.

1.2.14. Является ли семантическая концепция истины «правильной»?

Ничто из сказанного ниже не следует интерпретировать как претензию на то, что семантическая концепция истины является «правильной» или «единственно возможной». Мы не будем принимать какое-либо участие в этих бесконечных и ожесточенных дискуссиях на тему: «Какова правильная концепция истины?» Трудно представить себе о чем идет речь в этих спорах, ибо сама проблема столь неопределенна, что сколько-нибудь точное решение ее невозможно. Действительно, смысл, в котором используется фраза «правильная концепция», как нам представляется, никогда не был ясным. Складывается впечатление, что в большинстве случаев эта фраза имеет почти мистический смысл, вытекающий из веры в то, что каждое слово имеет лишь одно «подлинное» значение (вид платоновской или аристотелевской идеи) и что все конкурирующие концепции пытаются выразить это единственное значение. Однако, поскольку они противоречат друг другу, успешной может быть лишь одна попытка, следовательно, «правильной» будет лишь одна концепция.

Споры такого типа никоим образом не ограничиваются понятием истины. Они встречаются повсюду, где **вместо точной научной терминологии используется обыденный язык с его неопределенностью и многозначностью. Поэтому они всегда бессмысленны и бесплодны.**

Очевидно, что рациональный подход к решению таких проблем состоит в следующем: мы должны признать тот факт, что имеем дело не с одним, а с несколькими различными понятиями, которые обозначаются одним словом; мы должны попытаться сделать эти понятия как можно более ясными (**посредством определения, аксиоматической процедуры или как-то иначе**); во избежание дальнейшей путаницы мы должны договориться **использовать для различных понятий разные слова**; а затем мы можем перейти к систематическому изучению всех этих понятий — изучению, **которое раскроет их основные свойства и взаимные отношения.**

Если говорить о понятии истины, то в философских дискуссиях и, может быть, также в повседневном употреблении безусловно можно обнаружить некоторые зачатки истолкования этого понятия, существенно отличающиеся от классического (модернизированной

формой которого является семантическая концепция). В литературе обсуждались различные концепции такого рода, например, прагматистская концепция, теория когеренции и т. п. Однако, на наш взгляд, **ни одна из этих концепций до сих пор еще не была представлена в ясной и недвусмысленной форме.** Однако положение может измениться, и настанет время, когда мы столкнемся с несовместимыми, но в равной мере ясными и точными концепциями истины. Тогда станет необходимо отказаться от многозначного употребления слова «истинно» и вместо него ввести несколько терминов, обозначающих различные понятия.

1.2.15. Формальная корректность предложенного определения истины.

Возражения, выдвинутые против исследований, проведенных А.Тарским, можно разделить на различные группы, каждая из которых будет рассмотрена отдельно.

Практически, многие возражения против приведенной концепции истины направлены не столько против данного специального определения, как против семантической концепции истины в целом. Даже те из них, которые были направлены против реально построенного определения, относятся к любому другому определению, согласующемуся с этой концепцией. В частности, так обстоит дело с теми возражениями, которые затрагивают формальную корректность определения.

В качестве типичного примера изложим суть одного из таких возражений. В формулировке определения мы были вынуждены использовать пропозициональные связки, т. е. выражения типа «если ..., то ...», «или» и т. д. Они встречаются в определяющей части, а одна из них, а именно фраза «тогда и только тогда, когда» обычно используется для соединения определяемого с определяющим. Хорошо известно, однако, что значение пропозициональных связок разъясняется в логике с помощью слов «истинно» и «ложно», например, мы говорим, что эквиваленция, т. е. предложение вида « p тогда и только тогда, когда q », истинна, если оба ее члена, т. е. предложения, представленные символами « p » и « q », истинны или оба ложны. Таким образом, **определение истины содержит порочный круг.** Если бы это возражение было справедливым, формально корректное определение истины оказалось бы невозможным, ибо мы

неспособны сформулировать ни одного сложного предложения, не используя логических связок или иных логических терминов, определяемых с их помощью. К счастью, ситуация не столь плоха. Нет сомнения в том, что строго дедуктивной разработке логики часто предшествуют определенные утверждения, разъясняющие условия, при которых предложения вида «если p , то q » и т. п. считаются истинными или ложными. **(Такие разъяснения часто даются схематично, посредством так называемых таблиц истинности.)** Однако эти утверждения находятся вне системы логики и не должны рассматриваться как определения входящих в нее терминов. Они формулируются не в языке системы и представляют собой скорее специальные следствия определения истины, даваемого в метаязыке. Кроме того, эти утверждения никоим образом не влияют на дедуктивную разработку логики, ибо в процессе этой разработки мы вовсе не обсуждаем вопроса о том, **истинно ли данное предложение, нас интересует лишь, доказуемо ли оно.**

С другой стороны, если мы находимся в рамках дедуктивной системы логики или любой, опирающейся на нее дисциплины, например семантики, то мы либо истолковываем пропозициональные связки как неопределяемые термины, либо определяем их посредством других пропозициональных связок, но никогда — посредством семантических терминов типа «истинно» или «ложно». Например, если мы согласны рассматривать выражения «не» и «если ..., то ...» (может быть, еще «тогда и только тогда, когда») как неопределяемые термины, то термин «или» можем определить, сказав, что предложение формы « p или q » эквивалентно соответствующему предложению формы «если не- p , то q ». Данное определение можно сформулировать, например, в следующем виде:

«(p или q) тогда и только тогда, когда (если не- p , то q)».

Очевидно, что это определение не содержит семантических терминов.

Порочный круг в определении появляется только в тех случаях, когда определяющая часть либо содержит сам определяемый термин, либо термины, определяемые с его помощью. Теперь мы ясно видим, что использование пропозициональных связок в определении семантического термина «истинно» не приводит ни к какому кругу.

Упомянем еще одно возражение, которое также относится к формальной корректности, если и не самого определения истины, то рассуждений, приводящих к этому определению.

Автор этого возражения ошибочно считает схему Т (из раздела 1.2.4) определением истины. Он обвиняет это предполагаемое определение в «недопустимой краткости, т. е. в неполноте», которая «не позволяет нам решить, выражает ли «эквивалентность» формально-логическое или же внелогическое и структурно невыразимое отношение». Для устранения этого «недостатка» он предлагает дополнить Т одним из следующих способов:

(Т') X истинно тогда и только тогда, когда p истинно,

или

(Т'') X истинно тогда и только тогда, когда p имеет место (т. е. если то, о чем говорит p, имеет место).

Затем он обсуждает эти два новых «определения», которые, по-видимому, свободны от старого, формального «дефекта», но оказываются неудовлетворительными по другим, неформальным причинам.

Нам кажется, это возражение проистекает из неправильного понимания природы пропозициональных связей (и благодаря этому связано с рассмотренным выше). Фраза «тогда и только тогда, когда» (в противоположность фразам типа «являются эквивалентными» или «эквивалентно») вообще не выражает отношения между предложениями, так как не соединяет имен предложений. В целом все рассуждение основано на очевидном смешении предложений с их именами. Достаточно указать на то, что в отличие от Т схемы Т' и Т'' не порождают каких-либо осмысленных выражений, когда мы заменяем в них «p» некоторым предложением. Фразы «p истинно» и «p имеет место» (т. е. «то, о чем говорит p, имеет место») становятся бессмысленными, когда «p» заменяется предложением, а не именем предложения (см. раздел 4).

В то время как автор данного возражения считает схему Т «недопустимо краткой», мы, со своей стороны, считаем, что схемы Т' и

T" «недопустимо длинными». Можно строго доказать это утверждение, опираясь на следующее определение: некоторое выражение называется «недопустимо длинным», если (1) оно бессмысленно и (2) получено из осмысленного выражения посредством добавления излишних слов.

1.2.16. Возможность устранения семантических терминов как свидетельство их ненужности

Возражение, обсуждаемое ниже, не относится к формальной корректности определения, однако все еще связано с определенными формальными свойствами семантической концепции истины. Мы видели, что суть этой концепции состоит в рассмотрении предложения «X истинно» как эквивалентного предложению, обозначаемому символом «X» (причем «X» представляет имя предложения объектного языка). Таким образом, когда термин «истинно» встречается в простом предложении вида «X истинно», его легко устранить, а само предложение, принадлежащее метаязыку, можно заменить эквивалентным ему предложением объектного языка. То же самое можно проделать и со сложными предложениями при том условии, что термин «истинно» встречается в них только в качестве части выражений вида «X истинно».

На этом основании некоторые авторы убеждены в том, что термин «истинно» в его семантическом смысле всегда можно устранить, и по этой причине семантическая концепция истины оказывается совершенно бесплодной и бесполезной. А поскольку то же самое рассуждение можно применить к другим семантическим понятиям, отсюда делают вывод, что семантика в целом является чисто словесной игрой в лучшем случае может быть лишь безвредным увлечением.

Однако дело обстоит не так просто. Обсуждаемый здесь вид элиминации применим не всегда. Он неприменим в случае универсальных утверждений, говорящих о том, что все предложения определенного типа истинны или что все истинные предложения обладают определенным свойством. Например, в теории истины мы можем доказать следующее утверждение:

«Все следствия истинных предложений истинны».

Однако здесь мы не можем освободиться от слова «истинно» предлагаемым простым способом.

И даже в случае частных предложений, имеющих форму «Х истинно», такая простая элиминация не всегда возможна. В самом деле, элиминация возможна только в тех случаях, когда имя предложения, об истинности которого идет речь, встречается в такой форме, которая позволяет реконструировать само это предложение. Например, современное историческое знание не дает нам возможности устранить слово «истинно» из следующего предложения:

«Первое предложение, написанное Платоном, истинно».

Конечно, поскольку у нас имеется определение истины и поскольку каждое определение позволяет заменять определяемое определяющей частью, постольку всегда теоретически возможно устранить термин «истинно» в его семантическом смысле. Однако это не было бы простым устранением, рассмотренным выше, и не означало бы замены предложения метаязыка предложением объектного языка. Если же, однако, кто-нибудь продолжает настаивать на том, что благодаря теоретической возможности устранения слова «истинно» на основе его определения понятия истины является бесплодным, т. е. он должен признать и дальнейший вывод о том, что все определяемые понятия бесплодны. Однако такой вывод был бы настолько абсурден и исторически неверен, что комментировать его нет необходимости. Скорее можно согласиться с теми, кто считает, что моменты величайших творческих достижений науки часто совпадают с введением новых понятий посредством определений.

1.2.17. Соответствие семантической концепции истины философскому и обыденному употреблению этого понятия

Возникает поставлен вопрос, можно ли действительно семантическую концепцию истины рассматривать как точную форму старого, классического истолкования этого понятия.

В разделе 1.2.3 были приведены различные формулировки классической концепции. Следует повторить, что, видимо, ни одна из них не является вполне точной и ясной. Поэтому единственный надежный путь решить поставленный вопрос состоит в том, чтобы представить новую формулировку. Что касается мнения А. Тарского, то, с его слов, у него нет никаких сомнений в том, что данная им формулировка соответствует интуитивному содержанию

высказываний Аристотеля. А. Тарский не столь уверен в отношении более поздних формулировок классической концепции, поскольку они действительно очень неопределенны.

Вместе с тем высказаны некоторые сомнения относительно того, выражает ли семантическая концепция понятие истины в его обыденном и повседневном употреблении. Вполне понятно (и уже говорилось об этом), что обыденное значение слова «истинно» — как и любого другого слова повседневного языка — **до некоторой степени неопределенно и его употребления более или менее колеблются.** Следовательно, **проблема приписывания этому слову фиксированного и точного значения относительно не уточнена** и любое ее решение необходимо приводит к определенному отклонению от практики повседневного языка.

Несмотря на все это, можно считать, что семантическая концепция в значительной мере согласуется с обыденным употреблением, хотя можно ошибаться относительно этого. Более существенно то, что этот вопрос, как нам представляется, можно решать научно, хотя, конечно, не посредством дедуктивной процедуры, а с помощью статистического метода опроса. В сущности, такие исследования уже были осуществлены и некоторые их результаты были изложены на конгрессах и частично опубликованы.

Следовало бы подчеркнуть, что подобные исследования, на наш взгляд, должны проводиться с большой осторожностью. Если мы спросим школьника или даже взрослого образованного человека, не имеющего, однако, специальной философской подготовки, считает ли он предложение истинным, когда оно соответствует реальности или обозначает существующее положение дел, может оказаться, что он просто не поймет вопроса, следовательно, каким бы ни был его ответ, он не будет иметь для нас никакой ценности. Однако его ответ на вопрос о том, согласен ли он, что предложение «идет снег» может быть истинным, хотя снег не идет, или может быть ложным, хотя снег идет, был бы чрезвычайно важен для нашей проблемы.

В результате проведенных опросов (исследований) выяснилось, что в группе опрошенных только 15% согласились, что «истинно» для них означает «соответствует реальности», в то время как 90% признали, что предложение типа «идет снег» истинно тогда и только тогда, когда идет снег. Таким образом, подавляющее большинство этих людей, по-

видимому, отрицает классическую концепцию истины в ее «философской» формулировке, признавая эту концепцию, когда она формулируется в простых обыденных словах (что заставляет нас задуматься над тем, оправданно ли здесь использовать слова «та же самая концепция»).

1.2.18. Отношение приведенного определения к «философской проблеме истины» и к различным эпистемологическим направлениям

Высказаны замечание о том, что формальное определение истины не имеет никакого отношения к «философской проблеме истины». Однако никто и никогда не объяснил, в чем заключается эта проблема. Некоторые авторы говорят, что хотя приведенное определение устанавливает необходимые и достаточные условия истинности предложений, оно все-таки не выражает «сущности» этого понятия. Поскольку трудно понять, что такое «сущность» понятия, мы не будем обсуждать этот вопрос.

В общем сложно поверить, что существует такая вещь, как «философская проблема истины». Видимо, что существуют разнообразные понятные и важные (однако, необязательно философские) проблемы, связанные с понятием истины, но вместе с тем мы убеждены, что их можно точно **сформулировать и решать только на основе точного истолкования этого понятия.**

В то время как с одной стороны определение истины упрекали в недостаточной философичности, другая группа возражений ставит ему в вину серьезные философские следствия, обычно весьма нежелательного характера. Одно из возражений этого типа сейчас рассмотрим, другая группа подобных возражений будет рассмотрена в следующем разделе.

Утверждают, что благодаря тому факту, что предложение типа «клубника красная» считается семантически истинным, если клубника на самом деле красная, логика присоединяется к самому некритичному реализму.

При обсуждении этого возражения возникает два вопроса. Во-первых, следует убрать слова «на самом деле», которые не входят в

оригинальную формулировку и ведут к недоразумениям, даже если и не затрагивают содержания. Эти слова создают впечатление, будто семантическая концепция истины стремится установить условия, при которых мы с уверенностью можем утверждать любое данное предложение, в частности, предложения эмпирической науки. Однако небольшое размышление показывает, что это впечатление не более чем иллюзия.

На самом деле семантическое определение истины ничего не говорит о том, при каких условиях можно утверждать предложение типа:

(1) «Клубника красная».

Из него вытекает лишь одно: когда мы утверждаем или отрицаем это предложение, мы должны утверждать или отрицать соответствующее предложение типа:

(2) «Предложение «клубника красная» истинно».

Таким образом, мы можем принять семантическую концепцию истины, не отказываясь от своей эпистемологической позиции: мы можем оставаться наивными реалистами, критическими реалистами или идеалистами, эмпириками или метафизиками и кем угодно.

Семантическая концепция полностью нейтральна по отношению ко всем этим позициям.

Во-вторых, хотелось бы получить какую-либо информацию относительно такой концепции истины, которая (по мнению автора возражения) не связывает логику с крайне наивным реализмом. Можно предположить, что эта концепция должна быть совместима с семантической. Это означает, что должны существовать предложения, которые истинны в одной из этих концепций, но неистинны в другой. Допустим, например, что таким предложением является предложение (1). В семантической концепции истинность этого предложения детерминирована эквивалентностью вида T:

«Предложение «клубника красная» истинно тогда и только тогда, когда клубника красная».

В новой концепции мы должны отвергнуть эту эквивалентность, следовательно, должны принять ее отрицание:

«Предложение «клубника красная» истинно тогда и только тогда, когда клубника не красная (или, быть может, клубника действительно не красная)».

Это звучит несколько парадоксально. Нельзя считать такие следствия новой концепции абсурдными, однако следует опасаться, что в будущем кто-нибудь обвинит эту концепцию в том, что она соединяет логику с «наиболее софистическим видом ирреализма». Во всяком случае, важно понять, что каждая концепция истины, несовместимая с семантической концепцией, будет приводить к следствиям подобного типа.

Мы акцентировали наше внимание на этом вопросе не потому, что обсуждаемое возражение представляется очень важным, а потому, что некоторые моменты, вскрытые в ходе обсуждения, должны учитываться всеми теми, кто склонен отвергать семантическую концепцию истины по разным эпистемологическим соображениям.

1.2.19. Предполагаемые метафизические элементы в семантике

В разное время семантическую концепцию истины упрекали в том, что она включает в себя некоторые метафизические элементы. Упреки подобного рода предъявлялись не только теории истины, но всей области теоретической семантики.

Мы не будем обсуждать общий вопрос относительно того, можно ли возражать против введения метафизических элементов в науку. Единственное, что нас здесь интересует, — это в какой мере и в каком смысле метафизика может быть предметом нашего обсуждения.

Ответ на этот вопрос зависит, очевидно, от того, как понимать «метафизику». **К сожалению, это понятие чрезвычайно неопределенно и многосмысленно**. Когда приходится знакомиться с дискуссиями на эту тему, часто возникает впечатление, что термин «метафизический» не имеет никакого объективного значения и используется как разновидность профессионального философского

ругательства. Для некоторых людей метафизика есть общая теория объектов (онтология) — дисциплина, которую можно разрабатывать чисто эмпирическим путем и которая отличается от других эмпирических наук только своей общностью. Затруднительно однозначно ответить, существует ли реально такая дисциплина (некоторые циники утверждают, что для философии обычное дело — крестить еще не родившихся младенцев), однако, видимо, что в таком истолковании метафизика ни у кого не может вызвать возражений, и едва ли она имеет какую-либо связь с семантикой.

Так, некоторые люди считают показателем метафизического элемента в науке, когда в ней используются такие методы исследования которые не являются ни дедуктивными, ни эмпирическими. Однако в развитии семантики нельзя обнаружить ни малейшего следа такого симптома (если только некоторые метафизические элементы уже не включены в объектный язык, к которому относятся семантические понятия). В частности, семантика формализованных языков построена чисто дедуктивным путем.

Другие настаивают на том, что метафизический характер той или иной науки зависит, главным образом, от ее словаря и более конкретно от ее исходных терминов. **Термин считается метафизическим, если он не является ни логическим, ни математическим и если он не соединен с эмпирической процедурой, позволяющей нам установить, существует ли вещь, обозначаемая данным термином, или нет.** В отношении такого понимания метафизики достаточно напомнить, что метаязык включает в себя неопределяемые термины лишь трех видов: (1) термины логики, (2) термины соответствующего объектного языка и (3) имена выражений объектного языка. Отсюда ясно, что в метаязыке нет неопределяемых метафизических терминов (опять-таки если их нет в самом объектном языке).

Есть, однако, авторы, полагающие, что даже если в исходных терминах языка нет метафизических терминов, их можно ввести посредством определений, а именно, таких определений, которые не дают нам общего критерия для решения вопроса о том, подпадает ли некоторый объект под введенное определением понятие. Утверждают, что термин «истинно» принадлежит к такого рода терминам, так как непосредственно из определения этого термина не вытекает универсального критерия истины и считается общепризнанным (в определенном смысле может быть даже доказано), что такой критерий

вообще никогда не будет найден. Такая оценка реального характера понятия истины представляется нам вполне справедливой. Тем не менее, следует заметить, что в этом отношении понятие истины не отличается от многих понятий логики, математики и теоретических разделов различных эмпирических наук, например теоретической физики.

В общем, нужно сказать, что если термин «метафизический» употребляется в столь широком смысле, что покрывает некоторые понятия (или методы) логики, математики и эмпирических наук, то он будет охватывать также и понятия семантики. Действительно, как нам известно из начальных разделов настоящей главы, при построении семантики некоторого языка мы пользуемся всеми понятиями этого языка и применяем даже более строгий логический аппарат, нежели тот, который используется в самом языке. С другой стороны, однако, приведенные выше рассуждения можно кратко выразить так: при известной и более или менее понятной для читателя интерпретации термина «метафизический» семантика не включает в себя каких-либо метафизических элементов.

Выскажем заключительное замечание в связи с этой группой возражений. История науки дает нам много примеров таких понятий, которые осуждались как метафизические (в широком, но в любом случае обидном смысле этого слова), прежде чем их значение было сделано точным, но как только они получали строгое формальное определение, недоверие к ним исчезало. В качестве типичного примера можно указать на понятия отрицательных и воображаемых чисел в математике. Можно надеяться, что похожая судьба ожидает понятие истины и другие семантические понятия, поэтому, как нам представляется, те, кто не доверяет им из-за предполагаемых метафизических следствий, должны приветствовать тот факт, что теперь стало возможным точное определение этих понятий. Если же вследствие этого семантические понятия утратят философский интерес, они лишь разделят судьбу многих других понятий науки, и об этом не стоит сожалеть.

1.2.20. Применимость семантики к конкретным эмпирическим наукам

Мы подошли к последней и, быть может, наиболее важной группе возражений. Высказаны серьезные сомнения относительно того, могут

ли семантические понятия найти применение в каких-либо областях интеллектуальной деятельности. По большей части такие сомнения связаны с применимостью семантики в области эмпирической науки — в конкретных науках или в общей методологии этой области, но подобный скептицизм выражается также относительно возможных применений семантики в математических науках и их методологии.

До некоторой степени можно развеять эти сомнения и что определенный оптимизм в отношении потенциальной ценности семантики для различных областей мышления не лишен оснований.

Для оправдания этого оптимизма, видимо, достаточно указать на два очевидных момента. Во-первых, **разработка теории, которая формулирует точное определение некоторого понятия и устанавливает его общие свойства, создает тем самым прочную основу для всех рассуждений, в которые включено это понятие.** Следовательно, она не может быть безразлична тому, кто использует это понятие и хочет делать это ясным и непротиворечивым способом. Во-вторых, **семантические понятия реально входят в различные области науки, в частности эмпирической науки.**

Тот факт, что в эмпирическом исследовании мы имеем дело только с естественными языками, к которым теоретическая семантика применима лишь с определенным приближением, не оказывает существенного влияния на проблему. Хотя, конечно, вследствие этого прогресс в семантике будет оказывать замедленное и ограниченное влияние на эту область. Ситуация, с которой мы здесь сталкиваемся, существенно не отличается от той, которая возникает при наших попытках применять законы логики к аргументации в повседневной жизни или вообще в применениях теоретической науки к эмпирическим проблемам.

В большей или меньшей степени семантические понятия безусловно входят в психологию, социологию и практически во все гуманитарные науки. Так, психолог определяет так называемый коэффициент интеллектуальности посредством числа истинных (правильных) и ложных (ошибочных) ответов на определенные вопросы; для историка культуры большое значение имеет последовательность тех объектов, для которых человечество в своем прогрессивном развитии находило адекватные обозначения; литературоведа может интересовать вопрос о том, всегда ли данный автор использует некоторые два слова в одном и

том же значении. Примеры такого рода можно умножать до бесконечности. Наиболее естественной и многообещающей сферой применения теоретической семантики очевидно является **лингвистика — эмпирическое изучение естественных языков**. Некоторые разделы этой науки часто называют «семантикой», добавляя порой те или иные уточнения. Это имя иногда дают той части грамматики, которая пытается классифицировать все слова языка на части речи в соответствии с тем, что означает или обозначает слово. Изучение изменения значений в историческом развитии языка иногда называют «исторической семантикой». Совокупность исследований семантических отношений в естественном языке в целом называют «дескриптивной семантикой». **Отношение между теоретической и дескриптивной семантикой аналогично отношению между чистой и прикладной математикой или, может быть, между теоретической и эмпирической физикой. Роль формализованных языков в семантике приблизительно можно сравнить с ролью изолированных систем в физике.**

По-видимому, нет необходимости говорить о том, что семантика не может найти каких-либо непосредственных приложений в естественных науках — физике, биологии и т. п., так как ни в одной из этих наук нас не интересуют лингвистические феномены и семантические отношения между лингвистическими выражениями и объектами, к которым они относятся. В следующем разделе, однако, мы увидим, что семантика способна оказывать некоторое косвенное влияние даже на те науки, в которые семантические понятия непосредственно не входят.

1.2.21. Применимость семантики к методологии эмпирических наук

Наряду с лингвистикой, другой важной областью возможных применений семантики является методология науки. Здесь этот термин используется в широком смысле — как охватывающий теорию науки в целом. Независимо от того, истолковывается ли **наука лишь как система утверждений или как совокупность определенных утверждений и человеческих действий, изучение языка науки образует существенную часть методологического анализа науки**. Представляется очевидным, что любая попытка устранить семантические понятия (такие, как понятия истины и обозначения) из этого анализа сделает его фрагментарным и неадекватным. Кроме того,

для таких попыток оснований, поскольку преодолены главные трудности, связанные с использованием семантических терминов. **Семантика научного языка должна быть просто включена в методологию науки как ее часть.**

Мы не склоны навязывать методологии, и в частности семантике — теоретической или дескриптивной, — задачу прояснения значений всех научных терминов. Эта задача стоит перед теми науками, в которых используются термины, и она действительно решается ими (точно так же, как, например, задача прояснения значения термина «истинно» стоит перед семантикой и решается ею). Однако могут существовать определенные специальные проблемы такого рода, при решении которых методологический подход желателен или даже необходим (хорошим примером здесь будет вопрос о понятии причинности). В методологическом анализе таких проблем семантические понятия способны играть существенную роль. Таким образом, **семантика может оказывать влияние практически на любую науку.**

Встает вопрос, может ли семантика оказаться полезной при решении общих и, так сказать, классических проблем методологии. Хотелось бы здесь несколько подробнее обсудить специальный, хотя и очень важный, аспект этого вопроса.

Одна из основных проблем методологии эмпирических наук состоит в установлении условий, при которых эмпирическая теория или гипотеза должны считаться приемлемыми. Это понятие приемлемости должно быть релятивизировано относительно той или иной стадии развития науки (или данной совокупности знания). Иными словами, его можно рассматривать как снабженное временным коэффициентом, ибо теория, приемлемая сегодня, завтра может стать неприемлемой в результате новых научных открытий.

А priori кажется вполне вероятным, что приемлемость теории как-то зависит от истинности ее предложений, следовательно, методолог в своих (до сих пор безуспешных) попытках уточнить понятие приемлемости может ожидать некоторой помощи со стороны семантической теории истины. Поэтому ставится вопрос: существуют ли какие-либо постулаты, которые можно наложить на приемлемые теории и которые содержат понятие истины? В частности, мы спрашиваем, разумен ли следующий постулат:

«Приемлемая теория не может содержать (или иметь в качестве следствий) каких-либо ложных предложений».

Ответ на последний вопрос, очевидно, будет отрицательным. Прежде всего, **исторический опыт дает нам уверенность в том, что каждая эмпирическая теория, принимаемая сегодня, рано или поздно будет отвергнута и заменена другой теорией.** Весьма вероятно также, что новая теория будет несовместима со старой, т. е. из нее будет следовать предложение, противоречащее одному из предложений старой теории. Следовательно, по крайней мере одна из этих двух теорий должна включать в себя ложные предложения, хотя каждая из них принималась в определенное время. Во-вторых, обсуждаемый постулат едва ли может быть выполнен на практике, так как мы **не знаем и вряд ли когда-нибудь найдем критерий истины, который позволит нам показать, что ни одно предложение некоторой эмпирической теории не является ложным.**

Обсуждаемый постулат в лучшем случае можно рассматривать как выражение некоторого идеального предела для последовательности все более адекватных теорий в данной области исследования, однако едва ли ему можно придать сколько-нибудь точное значение.

Тем не менее, представляется, что все-таки существует важный постулат, который можно наложить на приемлемые эмпирические теории и который содержит понятие истины. Он тесно связан с обсужденным выше, но существенно слабее его. Следуя тому, что понятие приемлемости снабжено временным коэффициентом, мы можем придать этому постулату следующую форму:

«Как только нам удастся показать, что некоторая эмпирическая теория содержит (или влечет) ложные предложения, ее нельзя больше считать приемлемой».

В поддержку этого постулата следует высказать следующие замечания.

Видимо, каждый согласится с тем, что одной из причин, заставляющих нас отвергнуть эмпирическую теорию, является доказательство ее противоречивости: **теория становится неприемлемой, если нам удастся вывести из нее два противоречащих друг друга предложения.** Теперь мы можем спросить, по каким же мотивам мы отбрасываем теорию на таком основании? Те, кто знаком с

современной логикой, склонны отвечать на этот вопрос следующим образом: **хорошо известный логический закон говорит, что если из теории можно вывести два противоречащих друг другу предложения, то из нее можно вывести любое предложение, поэтому такая теория тривиальна и не представляет научного интереса.**

Есть некоторые сомнения относительно того, дает ли этот ответ адекватный анализ ситуации. Видимо, что люди, незнакомые с современной логикой, столь же мало склонны принимать противоречивую теорию, как и те, кому она хорошо известна. По-видимому, это верно даже для тех, кто считает логический закон, на который опирается аргументация, в высшей степени спорным и почти парадоксальным. Не следует думать, что наше отношение к противоречивым теориям изменится, даже если по некоторым причинам мы решим так ослабить нашу систему логики, что вывод любого предложения из двух противоречащих друг другу предложений окажется невозможным.

Реальная причина нашего отношения заключается в ином: **мы знаем (пусть лишь интуитивно), что противоречивая теория должна содержать ложные предложения, а мы не хотим считать приемлемой теорию, содержащую такие предложения.**

Имеются различные методы установления того, что данная теория содержит ложные предложения. Некоторые из них опираются на чисто логические свойства обсуждаемой теории. Метод, рассмотренный только что (т. е. **доказательство противоречивости**), не является единственным методом этого типа, но считается наиболее простым и чаще всего используется на практике. С помощью определенных предположений относительно истины эмпирических предложений мы можем получить столь же эффективные методы, которые уже не носят чисто логического характера. Если мы решим принять общий постулат, сформулированный выше, то успех в применении любого из этих методов сделает теорию неприемлемой.

1.2.22. Применения семантики к дедуктивным наукам

Что касается применимости семантики к математическим наукам и их методологии, т. е. к метаматематике, то здесь мы находимся в гораздо более выгодном положении, чем в случае эмпирических наук. Нам уже

не нужно выискивать причины, которые бы оправдали некоторые надежды на будущее (занимаясь, таким образом, какой-то пропагандой в защиту семантики), здесь мы можем указать на конкретные полученные результаты.

Продолжают выражать сомнения, может ли понятие истинного предложения — в отличие от понятия доказуемого предложения — иметь какое-либо значение для математических дисциплин и играть какую-либо роль в методологическом анализе математики. Нам кажется, однако, что именно **понятие истинного предложения образует наиболее важный вклад семантики в метаматематику**. Уже имеется целый ряд важных метаматематических результатов, полученных с помощью теории истины. **Эти результаты относятся ко взаимоотношениям между понятиями истинности и доказуемости**; устанавливают новые свойства второго понятия (которое, как известно, является одним из фундаментальных понятий метаматематики); и проливают некоторый дополнительный свет на важнейшие проблемы непротиворечивости и полноты. Наиболее интересные из этих результатов были кратко рассмотрены в разделе 1.2.12.

Кроме того, с помощью методов семантики мы можем дать адекватные определения важным метаматематическим понятиям, которые до сих пор использовались лишь на интуитивном уровне, например **понятию определенности или понятию модели системы аксиом**. Это позволяет предпринять систематический анализ этих понятий. Исследования определенности, в частности, уже принесли некоторые интересные результаты и обещают еще больше в будущем.

Мы рассматривали применение семантики только к метаматематике, но не к собственно математике. Однако это различие между математикой и метаматематикой не имеет большого значения. **Метаматематика сама является дедуктивной дисциплиной и поэтому с определенной точки зрения образует ветвь математики**. Хорошо известно, что благодаря формальному характеру дедуктивного метода результаты, полученные в одной дедуктивной дисциплине, автоматически могут быть распространены на любую другую дисциплину, в которой первая находит свою интерпретацию. Так, например, все **метаматематические результаты можно интерпретировать как результаты теории чисел**. И с практической точки зрения также не существует резкой границы между

метаматематикой и собственно математикой, например исследование определенности можно включить в любую из этих областей.

Заключение. Это обсуждение завершим некоторыми общими и не вполне строгими замечаниями по поводу всей проблемы оценки научных достижений посредством их применимости.

Будучи математиком (как и логиком и даже, может быть, философом), я имел возможность присутствовать

На многочисленных дискуссиях среди специалистов в области математики, где проблема приложений стоит особенно остро, обращает на себя внимание следующий феномен: если математик хочет принизить значение работы одного из своих коллег, скажем А, то наиболее эффективный способ сделать это состоит в том, чтобы спросить, где может быть применен полученный результат? Прижатый к стенке человек в конце концов отыскивает исследования другого математика В и указывает на них как на сферу применения своих собственных результатов. Если начать мучить В аналогичным вопросом, он сошлется на другого математика С. После нескольких попыток такого рода мы обнаруживаем, что вернулись к исследованиям А, и, таким образом, цепь замыкается.

Говоря более серьезно, не следует отрицать, что ценность некоторой работы возрастает благодаря ее применениям в исследованиях других людей и в практике. Тем не менее мы убеждены, что **вредно для прогресса науки оценивать значение какого-либо исследования исключительно или главным образом в терминах его полезности или применимости.** Из истории науки нам известно, что многие важные результаты и открытия ждали столетия, прежде чем нашли применение в какой-либо области. На наш взгляд, существуют также и другие важные факторы, которых нельзя не учитывать при оценке значимости научной работы. **Видимо, существует особая сфера очень глубоких и сильных человеческих потребностей, связанных с научным исследованием, которые во многих отношениях аналогичны эстетическим и, возможно, религиозным потребностям. И мы считаем, что удовлетворение этих потребностей должно считаться важной задачей исследования.** Поэтому мы убеждены в том, что **вопрос о ценности**

любого исследования не может быть адекватно решен, если не принять во внимание того интеллектуального удовлетворения, которое испытывает тот, кто понимает результаты данного исследования и сохраняет их. Быть может, это выглядит непопулярным и устаревшим, но мы не считаем, что научный результат, дающий нам лучшее понимание мира и делающий его в наших глазах более гармоничным, заслуживает меньшего уважения, чем, скажем, изобретение, которое снижает стоимость покрытия дорог или улучшает коммунальное водоснабжение.

Ясно, что высказанные замечания становятся ненужными, если слово «применение» употребляется в очень широком и расплывчатом смысле. Возможно, не менее очевидно и то, что из этих общих замечаний ничего нельзя вывести относительно тех конкретных проблем, которые были предметом обсуждения данного раздела.

1.3. Математика как модель смысловой структуры теоретического знания

Проблема смыслообразования в теоретическом знании решается с явления *a posteriori* потенциальной возможности мироосвоения, называемой далее послеопределенностью А. Ее актуализация с помощью предопределенности миропонимания В и всеопределенности мировоззрения G призвана снять неопределенность мировосприятия N с помощью потребностей, взаимно однозначно удовлетворяемых возможностями А. Математический алгоритм смыслообразования с помощью биекции Галуа состоит из четырех шагов. Четыре независимых направления представлены вершинами координатного тетраэдра трехмерного проективного пространства.

Исследование смысловой структуры теоретического знания мы начнем с изложения философских и математических оснований концепции Н.П. Чухакина смыслообразования в области знания. Её принципы гласят:

Мир состоит из множества актуальных и потенциальных возможностей. Реальность складывается из совокупности отношений

между элементами множества возможностей. Базовые возможности являются сущностями.

Согласно онтологическому принципу конкретности существования всякая сущность обретает бытие только в определенной системе отношений своих потенциальных атрибутивных свойств к актуальным возможностям действительности. Достаточное основание сохранения сущности состоит в актуализации потенциальных возможностей соответствующих атрибутивных свойств.

Смысл бытия сущности понимается как взаимно однозначное соответствие между её атрибутивными свойствами и актуальными возможностями их существования. Носители смысла - пары сущностей, первая из которых нуждается в удовлетворении возможностями второй. Смысл - необходимое и достаточное условие явления сущности в бытии.

Гносеологическая определенность смысла в знании зависит от отношения четырех параметров: неопределенности (узнавания), предопределенности (гипотезы), послеопределенности (доопределения) и всеопределенности (подтверждения гипотезы), связанных алгоритмом взаимно однозначного соответствия.

Математическая модель траектории смысла представляет собой сечение проективного расслоения возможностей. Отношение соответствия возможностей - подмножество множества всех пар возможностей, удовлетворяющее условиям математической структуры декартова произведения. Согласно первому из них **весь мир является миром потенциальных и актуальных возможностей. Знание - это потенциальная возможность, актуализация которой истинна. Истину, в свою очередь, можно определить как отношение принадлежности исследуемого объекта к некоторому множеству. Знание является первоначальным элементом культурного мира явлений органической и неорганической сфер существующей реальности, пронизанных, по определению П.А. Сорокина, нематериальным компонентом смысла.** Знание о совокупности актуализирующих потенциальные возможности отношений на декартовом произведении множеств всех возможностей, как окружающего человека мира, так и его собственных возможностей, является теоретическим. Теоретическое знание выявляет производную от элементов культурного мира сущность смыслообразующих

возможностей объекта с точностью до определения траектории смысла его бытия. Проблема смысловывявления в культурном мире связана, в первую очередь, с выделением области мира возможностей как объекта изысканий. В пределах этой области выделяются: основное множество возможностей (ОМ), их основные (ОО), производные (ПО) и инвариантные отношения (ПО), что и составляет предмет исследований, который, в свою очередь, делится на две смысловых области: культуру предмета (декартово произведение $ОМ \times ИО$) и предметную культуру (декартово произведение $ОО \times ПО$). **Инвариантные отношения определяют отношения классов (ОК), т.е. классификацию подмножеств элементов основного множества.** Отсюда следует, что культура объекта как множество носителей смыслов определяется декартовым произведением языка теории (обозначений (О)) на отношения классов, т.е. $О \times ОК$. В математике, например, отношения точек и чисел исторически и логически привели к открытию координатного метода (Декарт и Ферма) описания пространственных отношений, обобщенного в дальнейшем на понятие декартова (прямого) произведения элементов, сначала числовых множеств, а затем и множеств элементов произвольной природы.

Методология смысла как соответствия редуцируется к философским концептам смысла А.Ф. Лосева и Л. Витгенштейна и отражает процесс образования необходимых и достаточных условий сохранения сущности самих носителей смысла. Отношение соответствия в любой теории выполняется на подмножестве соответствующих пар (кортежей) элементов множества всех возможностей объектов этой теории, т.е. на подмножестве декартова произведения. Если это произведение составлено из элементов потенциальных и актуальных возможностей, то взаимная однозначность соответствия этих возможностей свидетельствует о смысле изучаемого объекта в его сущности. Смысл как необходимое и достаточное условие явления сущности в бытии (см. третий принцип концепции смыслообразования) интерпретируется с помощью множества своих носителей в культурном мире (пространстве культуры), содержащем в виде подмногообразия или подпространства и науку, и образование, и философию. Культурный мир, в свою очередь, может быть представлен как субъект-объектное многообразие носителей смыслов материальной и духовной деятельности человека. Сама смыслообразующая деятельность и осуществляющий её человек являются элементами культурного мира, носителями его культуры и смысла.

Что сближает философию с математикой в целостном осмыслении мира? Имеет место неоднозначное отношение к математике со стороны философов. Признавая роль математики в естественно-научном исследовании, Кант, Гегель и Гуссерль категорически отрицали ее философские возможности. Декарт и Лейбниц, напротив, считали математику источником философских методов, признавая за ней эпистемологическую универсальность. Кант понимал математическую деятельность как «познание посредством конструирования понятий», причем «познание, занимающееся не столько предметами, сколько видами (способами) нашего познания предметов, поскольку это (способ познания) должно быть возможным а priori». Познание - способ построения культурного мира как с помощью математики, так и с помощью философии. С одной стороны, всеобщий характер философского знания, обусловленный предельной абстрактностью философских понятий, а с другой - предельная общность математических объектов (точки, числа) как первообразных элементов (неопределяемых, т.е. лишенных каких-либо качеств), с помощью которых устанавливаются отношения, истинные во всех возможных мирах. Поэтому и существует возможность отобразить любые, в том числе и обобщенные философские сущности, на подмножества множеств точек геометрического пространства. Для этого необходимо решить проблему выбора координатной сети категорий и понятий отдельных областей культурного мира. Современное понимание всеобщих и локальных проявлений материального и духовного единства мира, с учетом его структурной неоднородности, количественной и качественной бесконечности невозможно без установления смысла знания этих явлений. Интерпретация представления об интенции возможности как векторе позволяет с помощью фундаментальных философских понятий охарактеризовать траекторию смысла знания на уровнях как науки, так и образования. Геометрически существование смысла можно представить в виде траектории (подмногообразия, линии, поверхности) на многообразии возможностей как точек некоторого пространства. Эта траектория - график смысловой функции. Её структура - алгоритм смыслообразования, полученный с помощью биекции (взаимно однозначного соответствия), носящей имя знаменитого французского математика Эвариста Галуа. Сущность алгоритма соответствия Галуа - в пересечении подмножеств основного концептуального множества потенциальных и актуальных возможностей всех сущностей.

Философская всеобщность подхода со стороны соответствия как бинарного отношения на множествах обеспечивается первоначалом

самих множеств. Поскольку они состоят из элементов произвольной природы, то представляют всё мыслимое и немислимое, явленное и скрытое, материальное и идеальное, реальное и мистическое, рациональное и трансцендентальное, действительное и возможное (как вероятное), существующее и несуществующее, необходимое и случайное, разумное и неразумное, истинное и ложное, сознательное и бессознательное, благо и зло, бытие и небытие, веру и безверие, волю и безволие, закон и беззаконие, положительное и отрицательное, хаос и порядок, красоту и безобразие и т.д., и т.п. - короче, **множество всех событий объективной, субъективной и трансцендентной реальности**. Всё может быть поставлено в соответствие: одно - другому, другое - третьему и т.д. Здесь нет других правил, кроме правила составления пары (a, b) элементов a из множества A и элементов b из множества B. Пара есть всегда. Даже если не будет двух элементов, может возникнуть пара из дважды взятого одного элемента.

Соответствие в математике - одно из основных понятий. Оно вводится с помощью понятия бинарного отношения для двух, в общем случае, различных или однотипных множеств или математических структур A и B. Бинарное отношение - подмножество R называемого декартовым произведением $A \times B$ множества всех пар (a, b) элементов из A и B. **Элементы пары (a, b), находящиеся в бинарном отношении aRb, называются соответствующими друг другу.** В общем случае бинарное отношение (соответствие) R является элементом булевой алгебры. Геометрическое построение траектории смысла как подмножества декартова произведения проводится в многомерном точечно-векторном пространстве. Например, в трехмерном случае траектория смысла является пространственной кривой или двумерной поверхностью. В обобщенном виде многообразию носителей смыслов соответствует геометрическая траектория не только точек, но и более сложных элементов многомерного геометрического образа.

Алгоритм отыскания смысла, определяющий структуру смысловой функции в окружающем человека сложном мире, выстраивается с помощью умножения отношений, т.е. является сложной смысловой функцией, зависящей от многих аргументов. Проблема смыслообразования начинается с явления a posteriori потенциальной возможности доопределения послеопределенности A, интерпретируемой в философии как мироосвоение. Ее актуализация с помощью гипотезы предопределенности B (миропонимания) и подтверждения гипотезы во всеопределенности G (мировоззрения)

призвана снять неопределенность N (мировосприятия) потенциальных возможностей узнавания, т.е. обеспечить A актуальными возможностями G . **Алгоритмические параметры A , B , G , N являются параметрами смысла, а их независимая совокупность - параметрической базой смысла.** Проблемы, рожденные послеопределенностью A научного поиска, образуют **класс неопределенности (узнаваемости) N , представляющий множество вероятных и невероятных целей.** Для снятия неопределенности необходимо установить два соответствия Галуа: 1) между A и N , что придает смысл постановке задачи сохранения сущности A , ее интенции (цели) N и будет смыслом постановки проблемы; 2) между B и G , что откроет смысл решения проблемы как смысл алгоритма, организующего средства достижения поставленной выше цели. В соответствии Галуа Γ параметры A и N входят во множество X потенциальных возможностей, а параметры B и G - во множество Y актуальных возможностей и связаны между собой с помощью следующего алгоритма решения проблемы смысло-образования:

- 1) **ЦЕЛЬ:** Постановка проблемы. Здесь соответствия $\Gamma(A)$ и $\Gamma(G)$ открывают такие смыслообразующие возможности цели N , без которых смысла нет (необходимость параметра N);
- 2) **ВОЗМОЖНОСТИ-ГИПОТЕЗА:** гипотеза решения. С помощью $\Gamma(G)$ определяются классы условий A , которые отображением $\Gamma(A)$ переводятся во множество теорий B в виде гипотезы алгоритма решения проблемы, удовлетворяющей A ;
- 3) **ГИПОТЕЗА-АЛГОРИТМ:** алгоритм решения проблемы. Исходя из предписаний алгоритма B , с помощью $\Gamma(B)$ и $T(N)$ определяется множество средств G («выход» из алгоритма).
- 4) **АЛГОРИТМ-РЕШЕНИЕ:** актуализация потенциальных возможностей. Определенные на предыдущем шаге значения цели из N с помощью $T(N)$ и $\Gamma(B)$ выявляют достаточные для ее удовлетворения актуальные возможности послеопределенности A (достаточность параметра A). Параметрическая база смысла положена в основу геометрической интерпретации траектории смысла и процесса смыслообразования.

Мировоззренческая интерпретация математических оснований моделирования знания о культурном мире соответствует принципам системного построения сети философских категорий (В.Н. Сагатовский, М.Р. Радовель). С помощью философской интерпретации декартовой системы координат закладываются основы координации смыслообразующих возможностей знания. Изучение процесса познания дает возможность определить, какие стороны

смыслообразования в научном знании составляют его базовую сущность. Соответствующие категории интерпретируются как базисные элементы геометрической системы координат. Поскольку категории являются элементами системы философских возможностей, то в абстрактном геометрическом пространстве они поставлены в соответствие точкам плоскости, изображающей эту систему. Смысл, определенный на множестве отношений актуальных и потенциальных возможностей двух сущностей, обозначен точкой соответствующего подмножества декартова произведения. Он определяется в соответствии с теми теориями (научными, теологическими и философскими), принципы которых лежат в основе построения картины мира. **В целом каждую картину мира можно интерпретировать как расслоенное пространство над общей базой смыслового многообразия.** Методология такой интерпретации должна соответствовать методологии построения этой картины, т.е. быть философски общезначимой. **В геометрии наиболее общими свойствами обладают проективные многообразия точек. Поэтому модель культурного мира рассматривается именно как проективное расслоение носителей смысла.**

Таким образом, проблемы мировосприятия, миропонимания, мировоззрения и мироосвоения культурного мира соответствуют отношениям четырех линейно независимых (базисных) векторов четырехмерного векторного пространства. Этим векторы определяют четыре базисных точки в трехмерном проективном пространстве - вершины системы координат (базиса, или координатного тетраэдра) этого пространства. В эпистемологической интерпретации базисные векторы охарактеризованы как направления: А - неопределенности (узнаваемости) мировосприятия, В - предопределенности (гипотезы) миропонимания, G - всеопределенности (подтверждения гипотезы) мировоззрения и А - послеопределенности (доопределения) мироосвоения. **Соответственно, буквами А, В, G, N обозначены базисные точки проективной системы координат.** Их взаимосвязь, полученная с помощью алгоритма соответствия Галуа, определяет структуру смысловой функции. Расположение параметров смыслового базиса на пространственной диаграмме аналогично проективному отношению базисных точек в координатном тетраэдре трехмерного проективного пространства, что создает потенциальные возможности для построения геометрической модели траектории смысла как годографа (геометрического места концов радиус-векторов S) смысловой вектор-функции. Каждому ребру тетраэдра соответствует два отображения Γ и Γ^1 . Четыре грани соответствуют четырем шагам решения проблемы

смысла, по Галуа. Поскольку биекция Галуа между потребностями и удовлетворяющими их возможностями является основой процесса смыслообразования, то ее алгоритмические параметры являются параметрами смысла, а их независимая совокупность - параметрической базой смысла. Параметры А, В, G, N независимы и принадлежат разным множествам возможностей, которые характеризуются по Гегелю, современными отношениями категорий возможность и действительность: **А - множество элементов реальной действительности; В - реальные возможности; G - формальная действительность; N - формальные возможности.** Каждому ребру тетраэдра соответствует взаимно однозначное отображение. Четыре грани изображают четыре шага решения проблемы смыслообразования, по Галуа. Плоскости этих граней будем называть, соответственно: (А, В, N) - онтологической, (А, G, N) - феноменологической, (А, В, G) - логической и (В, G, N) - гносеологической. Тогда можно сказать, что постановка проблемы осуществляется последовательно в феноменологической и логической плоскостях, в логической плоскости, кроме того, разрабатывается гипотеза алгоритма решения, а решение проблемы осуществляется в гносеологической (для науки - эпистемологической) и онтологической плоскостях.

Соответствие между множеством полученных а posteriori элементов реальной действительности А и множеством формально возможных элементов N устанавливается при выборе языка теории и обозначений (О) и закрепляется понятийным аппаратом на всех этапах построения данной теории. На этом этапе возникает и основное множество теории (ОМ) как соответствие между формальными возможностями N и элементами формальной действительности G.

Соответствие между А и G определяется основными отношениями (ОО) (аксиомами, постулатами, первичными неопределяемыми понятиями и т.п.) между элементами основного множества. Основные отношения являются теоретической базой для выдвижения гипотезы, построенной а priori на элементах множества реальных возможностей В для описания реальной действительности из А.

Соответствие между В и N дает основное содержание теории в виде производных отношений (ПО). А с помощью соответствия между В и G определяются инвариантные отношения (ИО), т.е. получаются

инварианты теории. Инвариантные отношения, полученные на этом этапе, далее следует отнести к основным отношениям теории.

Наконец, **соответствие между А и В создает отношение классов (ОК)** на основном множестве теории, или классификацию объектов теории по их инвариантным свойствам, что, в целом, и является целью построения теории.

Таким образом, **структура теории состоит из шести компонентов**: О - обозначения (язык теории); ОМ - основное множество; ОО - основные отношения на ОМ; ПО - производные отношения на ОМ; ИО - инвариантные отношения между элементами ОМ; ОК - отношения классов, или классы элементов из ОМ. Однако выбором основного множества построение теории не ограничивается. Как правило, при построении одной теории из множества элементов все определенности G с помощью гипотетических предположений множества предопределенности В приходится привлекать инвариантные отношения других теорий. Последние для данной теории входят в множество ОО. Отсюда следует, что с помощью четырех параметров А, В, G, N алгоритма смыслообразования построение модели теоретического знания в культурном мире получается за счет: 1) смысла объектов формальной действительности G; 2) смыслов предметной деятельности (методологический аспект), параметризованной реальной возможностью В на бесконечном многообразии параметров формальной возможности N, и 3) смысла предмета деятельности (параметр реальной действительности А). **Иными словами, культура знания - это культура объекта + культура предмета + предметная культура.**

Геометрические характеристики и условия существования траектории смысла интерпретируются в науке, образовании и других областях культурного мира как условия смысла бытия соответствующих сущностей. **Слои над точкой траектории смысла - это многообразия структур различных областей науки или образования, искусства или техники, политики или экологии - всех подпространств культурного пространства. Каждая отдельная структура - сечение слоя.** «Философскими сечениями» слоя могут быть, например, и классические системы категорий (Аристотель, Кант, Гегель и др.), и современные схемы (В.С. Степин и др.). Отдельно можно рассматривать сечения как строки и столбцы матрицы-таблицы «периодических элементов смысла», как у С.Б. Чернышева, или как

какие-либо другие системы. Важно при этом соотносить все структуры с одной и той же «точкой смысла» (рассматривать в одном и том же смысле), чтобы разные представления имели один и тот же смысл, соответствовали одному и тому же набору философских координат-понятий. **Поскольку точка смысла зависит от четырех базисных координат (мировосприятия, миропонимания, мировоззрения и мироосвоения), то от них же зависят и «координатные системы» философии, науки, образования и т.д. Эти системы отличаются друг от друга носителями смысла, например: для математики - это точки, для философии - сущности, для науки - явления, для образования - навыки, для техники - способы и т.д.**

Общими для всех областей культурного мира являются свойства отношений на множествах носителей смысла. В частности, определение математики можно сформулировать так: **математика - это отношения точек и чисел на декартовом произведении множеств элементов произвольной природы.** Такое определение не противоречит представлению Ф. Энгельса о математике как науке, объектом которой являются «пространственные формы» (в точечной интерпретации) и «количественные отношения» (в числовой интерпретации), принимающие «чрезвычайно абстрактную форму» (декартова произведения) множеств элементов произвольной природы, чье «происхождение из внешнего мира слабо затушено абстракцией отделения от содержания» как чего-то совершенно «безразличного». **Отношение, согласно алгебраическому определению, есть подмножество декартова произведения двух, трех и т. д. множеств элементов произвольной природы. В чистом виде такая парадигма математики - это теория отношений в системе координат.**

Предлагаемая здесь парадигма математики - это теория отношений, связывающих различные системы смысловых координат-понятий ее областей. Система смысловых координат является базой расслоенного пространства математической теории. С каждой точкой смысла этой базы связано декартово произведение всех областей математики: алгебраических, геометрических, функциональных и др. Поскольку явление в одной области математики интерпретируется с помощью отношений в других ее областях (горизонтальные связи), то в целом за счет таких интерпретаций в каждой точке траектории смысла выстраивается сечение математического расслоения. Это сечение объективно соответствует траектории смысла изучаемого объекта. В конечном счете, получается, что моделью математики является расслоенное

пространство отношений точек и чисел на декартовом произведении множеств элементов произвольной природы.

Заметим, что в общем случае расслоение - модель любой теории, а структура теории - замкнутые многообразия соответствующих сечений этого расслоения.

1.4. Математика, метаматематика и истина

1.4.1. Введение

Если спросить человека, далёкого от науки, об истинности математических теорем, то скорее всего он скажет, что они абсолютно истинны. Напротив, многие высказывания, опубликованные людьми науки на эту тему, утверждают невозможность определённого ответа на этот вопрос. Причиной такого разногласия является прежде всего различие взглядов на природу математических понятий, откуда вытекает и различное понимание истинности математических теорем. С другой стороны, понятие истинности теорем является метаматематическим и потому до тех пор, пока соответствующий раздел метаматематики не был формализован и тем самым превращён в часть математики, обсуждение этого вопроса могло носить только философский характер. Однако, если выбор философской концепции, в основном - дело вкуса, то от **математики требуется определённая объективность решений.**

Насколько актуален вопрос об истинности математических теорем в наше время, когда человечеством накоплен большой опыт, подтверждающий, с одной стороны, стабильность математических знаний, а с другой стороны - неизменную успешность применения математики в самых разнообразных областях науки и техники? Как это ни покажется странным, в свете внутреннего развития математики этот вопрос приобрёл ныне особую значимость в связи с произошедшим в последнее время изменением трактовки некоторых важных математических и метаматематических понятий.

Начиная с древности и до настоящего времени существуют

учёные, которые считают математику естественной наукой, предназначенной для изучения свойств реального мира, и критерием истинности математических утверждений полагают их соответствие «реальным фактам». Последнее и является главной причиной их пессимизма, поскольку вопрос об адекватности математических моделей реальным ситуациям всегда будет находиться за пределами математики и, более того, - за пределами достоверных знаний. В то же время математика отличается от других наук абстрактным характером и идеальностью своих понятий, что даёт основание считать её теоремы абсолютно истинными.

Целью настоящего раздела является дать по возможности объективный ответ на вопрос об истинности математических теорем, для чего необходимо уточнить само понятие истинности в математике. Об этом речь будет идти в п. 1.4.6, но прежде необходимо рассмотреть эволюцию некоторых математических понятий.

Математика, как и всякая наука, представляет собой систему понятий и утверждений (предложений, теорем, формул) в определенном языке. Однако, в отличие от всех остальных наук, **семантика математического языка не является фрагментом реального мира**, но является элементом самой математики. Поэтому можно сказать, что математика является наукой, замкнутой в самой себе. При всём том значительная часть математики используется для решения задач, возникающих при изучении реального мира, что дало основание считать математику естественной наукой.

Вопрос об истинности математических теорем зависит прежде всего от взгляда на природу самой математики, а также от понятия доказательства и некоторых других математических и метаматематических понятий. На эти понятия в научной и философской среде существуют разные точки зрения. 20-й век явился переломным в трактовке многих математических и философских вопросов в математике, хотя бы потому, что значительная часть метаматематики была математизирована и такие понятия, как доказательство и логика, используемая для его построения, приобрели вполне определённый формальный смысл. Эти достижения позволяют взглянуть на вопрос об истинности математических утверждений с совершенно новых позиций. При этом следует отметить, что пессимистические высказывания в адрес

математики появились в основном в конце 19-го начале 20-го веков, когда обнаруженные антиномии в традиционно построенной теории множеств поколебали веру в непогрешимость математической интуиции.

С античных времен существуют различные взгляды на природу и назначение математики. В соответствии с отношением к реальному миру их можно разделить на два вида, которые можно условно назвать **прагматическим** и **идеальным**. С **прагматической** точки зрения математика является естественной наукой, **служащей для познания закономерностей материального мира и черпающей из него свои понятия и задачи, причем последним критерием истинности математических постулатов и теорем считается их соответствие каким-либо реальным аналогам**. Однако, по самой природе естественнонаучного знания, не существует возможности установить или опровергнуть наличие такого соответствия, во-первых, потому, что все естественнонаучные знания имеют индуктивный характер, и во-вторых, потому, что мы **не можем гарантировать адекватного истолкования наших наблюдений и экспериментов**. Кроме того, математический язык настолько универсален, что пригоден для описания многих виртуальных миров, в частности, несовместимых с «реальным». Поэтому говорить о каком-то особом соответствии математического языка именно реальному миру необоснованно. Существуют и другие трудности сопоставления математических закономерностей реальным фактам, о чем будет сказано в дальнейшем. С **идеальной** точки зрения математика является независимой наукой, развивающейся по своим собственным закономерностям и непосредственно с материальным миром не связанной. Здесь, правда, возникает вопрос о причинах успешной применимости математических теорем к реальному миру, на который можно дать различные ответы. С античных времен и вплоть до 19-го века была широко распространена точка зрения, согласно которой мир был создан в соответствии с математическими законами, познавая которые, мы познаём и свойства реального мира. В книгах, по этому поводу, сказано следующее: «В трудах Коперника, Кеплера, Декарта, Галилея и Паскаля было доказано, что некоторые явления природы протекают в соответствии с математическими законами. Все эти ученые не только были глубоко убеждены в том, что Бог сотворил Вселенную по математическому плану, но и утверждали, что математическое мышление человека согласуется с божественными предначертаниями и потому пригодно для расшифровки этого

плана». В новое время такое объяснение стало недостаточным, но никакой более подходящей альтернативы предложено не было. Мы рассмотрим этот вопрос в п.1.4.6.

В настоящей работе предлагается определенный взгляд на понятие истинности в (мета)математике и рассматривается вопрос о возможности убедительного доказательства истинности математических теорем. Несмотря на то, что в научной среде обычно преобладает прагматический подход к математике, всегда существует и идеальная точка зрения на математику, без которой математика превратилась бы в теоретические разделы различных естественных наук. Именно **благодаря абстрактной математике человечество получило универсальный аппарат изучения самых различных явлений реального мира**. Говорят о существовании двух математик – теоретической и прикладной, однако правильнее было бы считать **прикладные задачи специальным видом семантики для математических теорий, поскольку отделить прикладную математику от теоретической невозможно**.

1.4.2. Краткий исторический обзор

Наиболее отчётливо различие во взглядах на природу математики проявилось у Платона (4 в. до н.э.) и его ученика Аристотеля. Первый, в соответствии со своей философской концепцией считал, что математика принадлежит миру чистых идей и потому ее истины, как идеальные, абсолютны и неизменны. Напротив, приложения её к несовершенному миру вещей условны и преходящи, и в то же время постигнуть свойства вещественного мира можно только с помощью идеальной математики. Аристотель явно стоял на прагматическом отношении к математике, отводя ей роль вспомогательного инструмента для физики, которая строится на основании чувственного опыта. В дальнейшей истории науки эти две точки зрения постоянно сохранялись и сохранились до настоящего времени, изменяясь только в соответствии с изменением взглядов на такие понятия, как логика, доказательство, реальный мир и др.

Естественно, что и взгляды на понятие истинности математических теорем с этих точек зрения могут быть различными. Как уже было сказано, некоторые приверженцы прагматической точки зрения считают, что критерием истинности математического предложения является соответствие его описываемым им фактам

вещественного мира, т.е. результатам наших наблюдений и экспериментов. Несостоятельность такого критерия в наше время достаточно очевидна, позднее мы еще скажем об этом. Что касается идеальной точки зрения, то здесь вопрос об истинности математических теорем приобрел в новое время в значительной мере формальный характер, о чем речь будет идти в дальнейшем.

Основные принципы построения математики были явно провозглашены еще в античности. Аристотель определённо заявил о необходимости дедуктивного построения математических доказательств. При этом он считал, что истинность аксиом устанавливается безошибочной интуицией, а не опытом, который всегда имеет индуктивный характер, и шаги дедукции также определяются интуицией. В то же время он сформулировал некоторые логические принципы, которые следовало применять при построении доказательств. Можно считать это началом сознательного замещения интуитивной очевидности логическими заключениями. Этот процесс затянулся более, чем на два тысячелетия и принёс первые плоды только в новое время и в узком круге математических теорий, в то время как подавляющее большинство других математических теорий по-прежнему строится на интуитивной основе (об этом будет сказано ниже). Позднее Евклид (3-й век до н.э.) описал аксиоматику геометрии, которая долгое время служила образцом для построения аксиоматических теорий, хотя с современной точки зрения она таковой не является. Дальнейшее развитие математики, вплоть до конца 19-го – начала 20-го веков имело в основном прагматический характер, когда математика применялась как эффективное средство для решения физических, астрономических и других прикладных задач. В то же время никогда не снимался вопрос о «законных» средствах построения математических понятий и доказательств. Ввиду отсутствия самого понятия математической логики, главным инструментом доказательств являлась интуиция. В наше время, несмотря на появление формальных понятий логики и доказательства, многие доказательства строятся на интуитивной основе. Поэтому вопрос о природе и роли интуиции в математике нуждается в специальном рассмотрении.

Хорошо известно, что многие важные разделы математики зарождались в связи с потребностью решения прикладных задач, однако подавляющее большинство задач не могло бы быть решено без соответствующего развития абстрактной математики.

Приверженцы прагматического подхода к математике основывают свою точку зрения на первом факте. Процесс развития математики довольно правильно описывается в следующем известном высказывании из работы, опубликованной в 1913 году: «...хотя математика возникает как средство для естествознания, но при своем развитии математический интерес получает для нас самостоятельное значение. ... Перейдя за пределы простого средства, математика начинает развиваться совершенно свободно, под влиянием одних внутренних потребностей. Тогда никакие посторонние соображения уже не могут влиять на развитие математики и математика становится вполне автономной... Критерием ценности всех математических теорий становится уже не приносимая ими польза для познания внешнего мира, а лишь внутренняя стройность, красота и порядок, достигаемые при их помощи в нашем собственном сознании».

1.4.3. Построение фундамента для математики в 20-м веке.

Вопрос о построении прочного фундамента математики, хотя и ставился некоторыми математиками в 19-м веке и ранее, но настоящую остроту он приобрёл после обнаружения противоречий в канторовской теории множеств, поскольку на нее возлагалась основная надежда построения основания для всей математики. Причиной такой надежды явилось то обстоятельство, что, с одной стороны, теория множеств основана на интуитивно очень простом и ясном понятии множества, более простом, чем понятие числа, и с другой стороны, в ней выразимы основные понятия Арифметики и Анализа, так что построив их модели в теории множеств, можно было бы доказать их непротиворечивость в случае надёжной непротиворечивости теории множеств. Однако в самом начале развития теории множеств в ней были обнаружены противоречия (обычно называемые парадоксами).

Наиболее простое из них – так называемый парадокс Рассела состоит в следующем. Все множества можно разделить на два вида: множества, содержащие самого себя в качестве своего элемента и множества, не содержащие себя в качестве элемента. Нетрудно привести примеры тех и других. Рассмотрим теперь множество P всех множеств второго вида и поставим вопрос, какому виду оно принадлежит. (Оно должно принадлежать одному из этих видов,

поскольку они исчерпывают все множества). Предположим, что множество P принадлежит первому виду, т.е. $P \in P$. Тогда, поскольку P состоит только из множеств второго вида, то $P \notin P$, т.е. $P \in P \Rightarrow P \notin P$ (1). Предположим теперь, что множество P – второго вида, т.е. $P \notin P$. Тогда P должно быть множеством первого типа, т.е. $P \in P$. Итак, получили: $P \notin P \Rightarrow P \in P$ (2). Из (1) и (2) получаем: $P \in P \ \& \ P \notin P$ – противоречие.

В связи с этим канторовская теория множеств как основание математики была отвергнута.

Другие попытки решения вопроса об основаниях математики происходили в основном с трёх разных позиций или направлений, которые получили названия **интуиционизма, логицизма и формализма**. Схематически эти направления можно охарактеризовать следующим образом.

Интуиционизм, как определённое направление в математике, возник в начале 20-го века, в основном благодаря трудам Л.Брауэра и А.Гейтинга. В его основе лежит номиналистическая тенденция ограничить математику только такими понятиями, которым можно придать «реальный смысл». Для реализации этой идеи интуиционисты предложили рассматривать только такие объекты, для которых имеется *потенциально осуществляемая* процедура их построения. Они получили название *конструктивных объектов*. Чтобы не выйти за рамки конструктивных объектов, интуиционистам пришлось сузить и логику, отказавшись от закона исключенного третьего. Путем сужения допустимых понятий интуиционисты рассчитывали достичь надежной истинности математических теорем, а тем самым и непротиворечивости такой математики. Однако этот расчёт не оправдался, во-первых, потому, что вместо ясности интуиционистские понятия и теоремы оказались в большинстве случаев сложнее классических аналогов и тяжелее воспринимаемыми человеческой интуицией, чем последние. Во-вторых, надежда на очевидную непротиворечивость конструктивной математики не оправдалась: как показали дальнейшие исследования, к ней сводится непротиворечивость классической математики. Кроме того, исключение из математики всех понятий, неподдающихся конструктивному определению, и, в частности, понятия актуальной бесконечности, привело к ликвидации важнейших достижений классической математики. По этому поводу Д.Гильберт в 1927г.

сказал: «...закон исключенного третьего ни в малейшей степени не повинен в появлении известных парадоксов теории множеств; эти парадоксы происходят скорее потому, что пользуются недопустимыми и бессмысленными образованиями понятий, которые в моей теории доказательства исключаются сами собою. ... Отнять у математиков закон исключенного третьего – это то же, что забрать у астрономов телескоп или запретить боксеру пользование кулаками. **Запрещение теорем существования и закона исключенного третьего почти равносильно полному отказу от математической науки.** Действительно, какое значение имеют жалкие остатки, немногочисленные, неполные, не связанные друг с другом единичные результаты, которые были выработаны без применения ε -аксиомы интуиционистами, по сравнению с могущественным размахом современной математики!». Все это воспрепятствовало интуиционизму стать фундаментом всей математики. Главной причиной этой неудачи является, видимо, наложение на идеальные математические понятия искусственных ограничений, основанных на философских соображениях. Претензия интуиционистов на исключительную истинность своих воззрений и требование строить всю математику только на конструктивной основе послужили определённой изоляцией этого направления от основной математики, хотя в некоторых её разделах (и в особенности – в метаматематике) использование конструктивного подхода вполне оправдано и иногда даже необходимо. Фактически гильбертовское понятие финитности есть не что иное, как одна из форм конструктивности. В своем развитии интуиционизм пошел по пути формализма и, можно сказать, стал тенью классической математики, отбрасываемой на неровную поверхность.

Логицизм возник на грани 19-20-го веков в связи с построением математической логики. Его основатели – Г.Фреге и Б.Рассел надеялись всю математику “вывести” из логики. Эта идея характеризуется следующим образом: «В начале XX в. Рассел, как и Фреге, надеялся, что если фундаментальные законы математики удастся вывести из логики, то поскольку логика, несомненно, является сводом нетленных истин, математические законы также окажутся истинными – и тем самым проблема непротиворечивости будет разрешена». Для этого необходимо было определить основные математические понятия в рамках чистой логики и тогда все математические теоремы будут получаться как логические следствия. Фреге, как ему казалось, определил таким образом натуральные числа, к которым сводятся многие математические понятия, и

построил для них арифметику. Б.Рассел, хотя и обнаружил в этой арифметике противоречие, однако продолжил попытку реализовать идею логицизма.

Несостоятельность этой идеи стала практически общепризнанной после неудачи всех попыток ее реализации и осознания содержания и свойств логики. Фактически в основе логицизма лежит довольно широкое понимание логики. Тот факт, что в языке логики предикатов выразимы при определённой интерпретации многие математические понятия, ещё не означает, что эти понятия со всеми своими свойствами принадлежат логике. Согласно общепринятому определению логики, сформулированному ещё Лейбницем, с которым Рассел – один из главных творцов логицизма - был согласен, **логика – это то, что истинно во всех мирах.** Это означает, что логика не содержит никаких фактических истин, относящихся к какому-либо конкретному миру. Совершенно ясно, что математические истины таким свойством не обладают, хотя бы потому, что существуют противоречащие друг другу теории. Такое понимание логики не позволяет включать в неё конкретные отношения, даже если они определяются логическими средствами. Однако логицисты считали логическим всё то, что им удалось выразить в языке логики предикатов. Вот мнение Д.Гильберта о таком подходе: “Математика, как и любая другая наука, не может быть основана только на логике; наоборот, в качестве предварительного условия для применения логических умозаключений и приведения в действие логических операций нам в нашем представлении уже должно быть дано нечто, а именно – определённые внелогические конкретные объекты, которые существуют наглядно, в качестве непосредственных переживаний до какого бы то ни было мышления.” Надо, однако, сказать, что окончательно вопрос о границах логики ещё не решен, но если говорить о принятой в современной математике классической логике предикатов первой ступени, то в силу её полноты, в рамках данного языка ни о каком расширении её речи быть не может. Что касается логики предикатов более высоких ступеней, то они не являются рекурсивно аксиоматизируемыми, и кроме того, недостаточно изучены. Поскольку позиции логицистов не были очерчены достаточно чётко, то варианты логицизма обсуждаются до настоящего времени.

Формализм (или формальное направление в математике) представляет собой развитие древней идеи полной аксиоматизации

математики, в модернизированном виде изложенную в так называемой “программе Гильберта”. Несмотря на то, что на первый взгляд программа Гильберта была опровергнута результатами Гёделя, она фактически (с некоторыми поправками) стала главным подходом к основаниям математики. Поэтому рассмотрим её более подробно.

Программа Гильберта. Гильберт, пожалуй, был первым математиком, который провозгласил законность любой математической теории, для которой доказана её непротиворечивость, невзирая на возможность её содержательной интерпретации. В настоящее время такое утверждение не вызывает возражений, но ещё в начале 20-го века господствовала другая точка зрения, согласно которой математические понятия и теоремы с самого начала должны иметь содержательный смысл в виде аналогов в реальном мире или, точнее говоря, среди человеческих представлений о нём. Поэтому гильбертовская идеология вызвала неприятие со стороны прагматически настроенных коллег.

Уже древние греки хорошо понимали роль дедуктивного подхода к математике и значение четких логических правил для построения дедуктивных цепочек. Об этом свидетельствуют попытка Аристотеля описать такие правила, а также попытки Евклида и его предшественников аксиоматизировать математику. Однако в то время и долгое время спустя не было просто технических возможностей для формализации логики, а следовательно и математики. **Само понятие логики не могло быть точно определено, поскольку для этого требуется чёткое разделение синтаксиса, как средства воплощения внешней формы теории, и семантики, как возможного содержания теории.** Всё это стало ясным только в 20-м веке (хотя подобные идеи высказывал уже Лейбниц, 1646 - 1716). Начало систематического построения математической логики и, в частности, её языка положили Д.Буль (1815 – 1864), Г.Ф.Л.Фреге (1848 – 1925), Д.Пеано (1858 – 1932), Э.Ф.Ф.Цермело (1871- 1953). Современная форма математической логики в виде аксиоматизированной теории была выработана в основном благодаря работам Рассела и Уайтхеда, и в особенности Гильберта и Бернаиса. Несколько позднее было разработано общее понятие формальной системы, частным случаем которой является аксиоматическая (или аксиоматизированная) теория. После того, как в “наивной” т.е. интуитивно построенной Г.Кантором (1845 – 1918) теории множеств были обнаружены противоречия, главной задачей в

основаниях математики стало создание таких методов построения математических теорий, которые гарантировали бы их непротиворечивость. Интуиционизм фактически не давал и не мог дать никаких гарантий непротиворечивости математики, несмотря на сужение класса объектов и логики, поскольку не вносил принципиальных изменений в методы доказательства. Осуществимость логицистского подхода с самого начала была весьма проблематична и остановилась на уровне идей. **Жизнеспособным и даже единственным путем дальнейшего развития математики явился путь, намеченный Д.Гильбертом в его “программе”.** Хотя в то время в сознании математиков синтаксис математического языка был неотделим от содержания, Гильберт фактически предложил **строить именно синтаксическую компоненту теории по чисто формальным правилам в виде аксиоматического исчисления,** и формально же доказав его непротиворечивость, **должным образом интерпретировать нужные теоремы.** Он понимал, что доказательство непротиворечивости теории её же средствами не имеет смысла, и поэтому он предполагал **доказывать непротиворечивость “финитными” средствами, гарантирующими отсутствие противоречий.** Точного понятия финитности он не дал, но судя по отдельным примерам, - это некоторая достаточно сильная форма конструктивности. Для того времени эта идея Гильберта была слишком необычной и вызвала критику многих его коллег, обвинивших его в “игре формулами”. Однако дальнейшее развитие оснований математики пошло именно по этому пути, несмотря на то, что Гёделем были доказаны такие отрицательные свойства достаточно богатых формальных теорий, как неполнота и несуществование в непротиворечивой теории доказательства её непротиворечивости (впрочем, это относится только к теориям в языке первой ступени – см. п.1.4.5).

Очень важной для развития математики оказалась сама идея отделения синтаксиса от семантики. Кроме того, гильбертовский подход привёл к появлению математизированной метаматематики (подробнее – в п.1.4.5).

1.4.4. Об интуиции в математике

Вопросу о роли интуиции в науке, и в частности, в математике посвящено много работ преимущественно философского характера. Ввиду большого разнообразия философских взглядов

многие работы только запутывают главный вопрос о природе интуиции. Заметим сразу, что нас интересует только разновидность интуиции, которую принято называть «интеллектуальной», каковой является и математическая интуиция. Поэтому в дальнейшем слово «интеллектуальная» мы опускаем.

Отметим, что до 20-го века, в котором была создана математическая логика и появилась возможность построения чисто логических доказательств, интуиция считалась законным средством доказательства. Более того, Декарт, Паскаль и другие математики того времени говорили о ненадёжности логических доказательств по сравнению с интуитивным прозрением. Очень чётко такой взгляд на интуицию сформулировал Декарт в своих «Правилах для руководства ума», где он пишет: «Под интуицией я разумею не веру в шаткое свидетельство чувств и не обманчивое суждение беспорядочного воображения, но понятие ясного и внимательного ума, настолько простое и отчётливое, что оно не оставляет никакого сомнения в том, что мы мыслим, или, что одно и то же, прочное понятие ясного и внимательного ума, порождаемое лишь естественным светом разума и благодаря своей простоте более достоверное, чем сама дедукция...». Следует сказать, что подобной точки зрения на интуицию вплоть до 20-го века придерживались все математики, несмотря на различие их философских концепций. Такое единство взглядов, а главное то, что интуитивно доказанные теоремы сохраняют свою правильность и до настоящего времени, свидетельствует об объективной основе интуиции. После обнаружения противоречий в интуитивно построенной теории множеств отношение к понятию интуиции существенно изменилось и формально математическое доказательство стало считаться правильным, если оно построено только по логическим законам. Однако фактически понятие доказательства в содержательной (т.е. неформализованной) математике осталось прежним, а именно, оно строится иногда со ссылками на логику, но большей частью шаги дедуктивной цепочки обосновываются интуитивной очевидностью. При этом критерием объективности (а потому и правильности) такого доказательства служит апробация коллективом других математиков. **Таким образом, по-прежнему в основе неформального понятия доказательства лежит интуиция, объективность которой обосновывается путём апелляции к определенному коллективу людей.** Этот, на первый взгляд субъективный критерий, действовал во все времена и дал миру необозримое множество математических теорем, истинность которых, в отличие от достижений эмпирических

наук, не подвержена влиянию времени: **теоремы, доказанные в древности, верны и в наше время.** Поэтому естественно предположить, что этот факт имеет объективную причину, которая заключается в **способности человеческого разума непосредственно усматривать определенные истины** (по крайней мере, - логические).

Отсутствие вплоть до 20-го века какого-либо полного описания логики, а потому и общепринятого понятия доказательства не помешало строить в подавляющем большинстве случаев логически правильные доказательства. Если приведенное выше высказывание Декарта выражало мнение всех его современников и предшественников, то в настоящее время ситуация изменилась в связи с появлением нового раздела математики, **посвящённого основаниям математики и включающего в себя основные метаматематические понятия.** Появлению этого раздела сопутствовало создание формальной математической логики и общих понятий формальной теории и формального доказательства. В связи с этим изменились требования и к неформальным доказательствам: теперь от них требуется, чтобы каждый шаг дедукции мог быть осуществлен по правилам математической логики. Нельзя сказать, что это требование выполняется во всей математике, однако в теориях, связанных с основаниями математики, такое условие необходимо. Возникает вопрос: всякое ли интуитивно построенное доказательство может быть преобразовано в формально-логическое? Поскольку **интуитивные доказательства так же, как и формальные, строятся в виде дедуктивных цепочек, то можно говорить о некоей логике интуитивных доказательств – интуитивной или содержательной логике.** Поставленный вопрос может быть решён положительно, если установить равносильность **содержательной и формальной логик.** На основании опыта построения формальных теорий принято считать, что содержательная логика отличается от формальной только наличием укрупнённых правил, которым соответствуют производные (т.е. доказуемые) формальные правила. Это означает, что для всякого содержательного доказательства существует эквивалентный формальный аналог, построенный в рамках классической логики предикатов и являющийся восполнением интуитивного доказательства. Принятие этого утверждения в качестве рабочего тезиса не менее оправдано, чем принятие тезиса Чёрча для вычислимых функций. Фактически, этот тезис уже принят в современной математике и называется иногда “тезисом Гильберта”.

Если обратиться к истории не только математики, но и науки вообще, то легко убедиться в том, что большинство кардинальных научных открытий произошло путём неожиданных «прозрений», т.е. интуитивно, а не путём логических умозаключений. Сам термин «интуиция», обозначающий в переводе на русский язык «усмотрение» или «видение», т.е. непосредственное восприятие объекта, даёт основание утверждать существование у человека определённой способности «интеллектуального умозрения», наподобие **чувственного зрения**. Об этом же свидетельствует вся история попыток «научить» вычислительные машины доказывать математические теоремы хотя бы на уровне человека. Большое число самых разных программ не дало ожидаемых результатов, и как теперь стало ясно, **формальный подход не может их дать ввиду чрезвычайной сложности задачи, заведомо недоступной для сколь угодно мощной техники (даже в далекой перспективе)**. Этот факт вынуждает признать **наличие у человека особой способности восприятия логических истин, отличной от обычного логического мышления.** Эта способность, в силу её принципиальной неформализуемости, не может быть смоделирована в автоматах, и потому любой искусственный интеллект будет ущербен по сравнению с человеческим интеллектом. **Поэтому интуиция никогда не потеряет своего значения как важный инструмент познания.**

Определённый взгляд на значение интуиции в математике связан с интуиционизмом, о котором шла речь в предыдущем пункте.

1.4.5. Основания математики – современное состояние

Сначала заметим, что “современное состояние” оснований математики сложилось фактически в середине 20-го века и с тех пор основные концепции практически не изменились, несмотря на получение множества частных результатов. Это не означает, что данная проблематика исчерпана или зашла в тупик. Поскольку **вопрос обоснования математики является пограничным между философией и математикой (принадлежит метаматематике – в терминологии Гильберта)**, то его разрешение должно состоять в выработке общепризнанной концепции, возможно синтезированной из разных направлений.

К числу основных достижений 20-го века в области оснований математики следует отнести:

1. Выработку понятия формального языка и формальной системы (исчисления) и порождаемой ею теории.
2. Создание математической логики в виде непротиворечивой семантически полной формальной системы.
3. Создание аксиоматизированных формальных теорий арифметики, теории множеств, алгебраических систем и других важных разделов математики.
4. Формальное уточнение понятий алгоритма и вычислимой функции.
5. Арифметизация и погружение в формальную теорию таких важных понятий метаматематики, как доказуемость, непротиворечивость и др., что позволило решать многие метаматематические проблемы математическими средствами.

Перечисленные достижения потребовали осознания и уточнения многих важных математических и метаматематических понятий таких, как язык, синтаксис и семантика математических теорий и др. Всё это позволило взглянуть на проблему оснований математики с новых позиций по сравнению с предшествующими временами. Чтобы судить о надежности такого фундамента, необходимо более подробно рассмотреть основные понятия.

1. Язык. В естественных языках синтаксис и семантика находятся в неразрывном единстве, что и образует собственно язык. **В математике оказалось удобным под формальным языком понимать только его синтаксическую часть**, в то время как семантика может варьироваться в зависимости от предметной области, круга задач и других условий. Говоря о языке математики, мы будем иметь в виду формальный язык, используемый в математических теориях, и в частности, в математической логике.

Если задан какой-либо *алфавит*, т.е. конечное или бесконечное множество *букв*, то всякая конечная цепочка букв этого алфавита называется *словом* в этом алфавите. (*Формальным*) *языком*

в данном алфавите называется произвольное множество слов. Однако фактически в математике рассматриваются не произвольные языки, а полученные с помощью *формальных (дедуктивных, аксиоматических или аксиоматизированных) систем (исчислений)*. **Формальная система** задается алфавитом, множеством исходных слов – *аксиом* и множеством *правил вывода*, которые из **определённых слов – посылок порождают слово, называемое заключением**. Таким образом, каждая формальная система определяет язык – множество всех слов, которые можно породить применением правил вывода к аксиомам и ранее порождённым словам (ср.п. 3). Содержательный смысл этого понятия в том, что **формальный язык** – это точно описанная синтаксическая компонента языка в обычном понимании. Следует заметить, что основной **целью** построения **формальных систем является достижение максимальной объективности** (т.е. независимости от субъективного восприятия) математических понятий, что получается благодаря использованию таких процессов построения математических объектов (понятий), которые могут быть осуществлены автоматически.

Основным языком современной математики считается так называемый **язык предикатов**, алфавит которого обычно содержит символы предметных переменных и констант, предикатов и функций, логических операций, включая кванторы, а также вспомогательные символы, например, скобки, запятые и т.п. Язык предикатов, в котором допускаются кванторы только по **предметным переменным**, называется **языком первой ступени или первого порядка**. Если же кроме этого допускаются кванторы по **предикатным и (или) функциональным переменным**, то соответствующий язык называется **языком второй ступени**. Такую классификацию можно продолжить.

2. Формальная теория. Для определения формальной теории в каком-либо алфавите определяют обычно два (но может быть одно или больше двух) подмножества слов формального языка. Слова одного из них, называемые *термами*, интерпретируются как имена объектов предметной области и функций на ней, слова другого, называемые *формулами, предложениями, высказываниями*, играют роль утверждений о свойствах объектов (и предикатов – для языков второй и выше ступеней). Собственно *формальной теорией* называется множество формул, причем оно должно быть замкнуто относительно логических правил вывода (см. п.3 и 5). Обычно

рассматриваются аксиоматические (или - аксиоматизированные) теории, т.е. являющиеся формальными исчислениями. Теория называется *рекурсивно аксиоматизируемой*, если она может быть определена как формальное исчисление с рекурсивным (разрешимым) множеством аксиом. В общем случае теория может быть задана любым другим способом, в том числе – с помощью семантики. При этом она может быть не только не разрешимой, но и не рекурсивно перечислимой (а потому и не рекурсивно аксиоматизируемой, поскольку всякая рекурсивно аксиоматизируемая теория рекурсивно перечислима).

Множество называется *разрешимым*, если существует единый способ, позволяющий относительно любого объекта определить, принадлежит он этому множеству, или нет. Формальным уточнением этого понятия является понятие *рекурсивного множества* – такого множества, для которого существует (формальный) алгоритм, разрешающий это множество, т.е. дающий для любого объекта ответ, принадлежит он этому множеству или не принадлежит. Согласно *тезису Чёрча* термины «разрешимое» и «рекурсивное» можно рассматривать как синонимы. Множество называется (*рекурсивно-*)*перечислимым*, если существует алгоритм, порождающий это множество, т.е. такой алгоритм, который последовательно выдает элементы данного множества (быть может с повторениями) и только их. Предполагается, что любой элемент множества рано или поздно будет получен. Очевидно, что всякое разрешимое множество перечислимо. Обратное неверно, поскольку можно привести примеры перечислимых, но не разрешимых множеств.

Теории, использующие язык предикатов первой (второй) степени, называются теориями первой (второй) степени. В некоторых случаях используются промежуточные языки, выходящие за рамки первой степени, но не обладающие всеми возможностями языка второй степени.

3. Доказательство. Если задано подмножество слов формального языка, называемых *аксиомами*, а также - правила вывода, каждое из которых представляет собой совокупность конечного множества слов, называемых *посылками* и одного слова, которое называется *заключением*, то **доказательством** или **выводом** в такой системе называется **конечная последовательность слов**,

каждое из которых является либо аксиомой, либо заключением правила вывода, посылками которого являются некоторые слова из предшествующих данному слову в этой последовательности. Это общее понятие доказательства относится к любой формальной теории и в каждом конкретном случае является математическим объектом.

Для всякой **рекурсивно аксиоматизированной теории** множество доказательств разрешимо, т.е. существует эффективный формальный способ отличить доказательство от цепочки слов, не являющейся таковым. Это означает, что для таких теорий правильность доказательства всегда может быть эффективно проверена, и следовательно, гарантирована.

4. Интерпретация и модель. При содержательном построении теории слова ее языка (термы, формулы и пр.) с самого начала обладают определенным значением (или смыслом), соответствующим семантике языка. Формальные же языки и теории, хотя и строятся в расчёте на какую-либо конкретную семантику, тем не менее, как чисто синтаксические объекты, нуждаются в специальном приписывании им подходящей семантики или *интерпретации*, которая словам языка присваивает определенные значения. Например, если алфавит теории содержит предикатные и функциональные символы, то всякая интерпретация должна присвоить им, соответственно, конкретные предикаты и функции на предметной области, принадлежащей данной интерпретации. Поскольку формулы интерпретируются как предложения (утверждения), то каждая интерпретация порождает свою логическую оценку формул (предложений) в языке теории. Для *классической логики* эта оценка двузначна и придаёт каждому предложению одно из двух значений - "истина" или "ложь". **Интерпретация, в которой все предложения теории истинны (т.е. имеют оценку "истина") называется *моделью* этой теории.**

5. Логика. Всякая формальная теория должна содержать формальную логику, т.е. логические аксиомы и правила вывода, благодаря которым становится возможным рассматривать формальные доказательства в теории как экспликации содержательных математических доказательств. Несмотря на то, что в реальной жизни и в некоторых содержательных теориях существуют не только истинные и ложные предложения

(высказывания), но также – неопределённые, бессмысленные, модальные и т.п., математика всегда может обойтись только двузначной логикой, т.е. такой логикой, в которой каждое замкнутое предложение либо истинно, либо ложно. Надо сказать, что в 20-м веке широко изучались всевозможные многозначные логики (в основном – логики высказываний), однако они фактически являются математическим, а не логическим аппаратом, для самой же математики достаточно двузначной логики.

Понятие логической истины достаточно определено сформулировал Лейбниц. Он назвал предложение *логически истинным*, если оно истинно во всех “мирах”, т.е. во всех интерпретациях. Именно такое понимание логики проводит чёткую границу между логическими и фактическими истинами, что необходимо для построения формальных теорий, и в частности, самой логики. Многовековой процесс построения логики привёл в XX веке к созданию современной математической логики, получившей название *классической логики*.

Основной логикой для построения математических теорий является классическая *логика предикатов первой ступени* (т.е. все предложения и правила вывода этой логики должны формулироваться в языке предикатов первой ступени). В силу самой конструкции её языка, класс всех её интерпретаций исчерпывается *алгебраическими системами*. В соответствии с лейбницевским понятием логики, её предложения должны быть истинными “во всех мирах”, т.е. во всех конкретных алгебраических системах в том же языке. Очень важным достоинством логики предикатов первой ступени является её **семантическая полнота и непротиворечивость** (см.п. 6) в том смысле, что в ней доказуемы (ей принадлежат) все общезначимые, т.е. **истинные во всех интерпретациях, предложения и только они, что собственно и отличает логику от других теорий** (для прикладных теорий рассматривается либо синтаксическая полнота, либо полнота относительно каких-либо специальных семантик). Значение **полной формальной логики** для математики невозможно переоценить. Во-первых, понятие доказательства в любой формальной теории приобретает объективный характер, можно даже сказать, что **формальное доказательство абсолютно, поскольку для любой рекурсивно аксиоматизированной теории и любой конечной цепочки формул существует эффективная процедура формальной, и следовательно, объективной проверки, является**

ли данная цепочка доказательством, или не является. Во-вторых, наличие **формального доказательства (логического вывода) какого-либо предложения в непротиворечивой теории T означает, что это предложение будет истинным в любой модели теории T** . Благодаря таким замечательным свойствам, логика предикатов первой ступени в настоящее время широко применяется во всей математике, несмотря на некоторую ограниченность её языка. Более широкая логика второй ступени применяется обычно с некоторыми ограничениями из опасения противоречий.

Несколько слов о языке логики. В **основе языка современной математической логики лежат общие понятия предиката или отношения и, как частный случай его, - функции**. Этот, на первый взгляд, бедный язык оказался достаточным для построения любых математических теорий. Тем не менее, вскоре после появления классической математической логики стали создаваться логики в языках, расширенных различными дополнительными операторами – **модальными, временными, деонтическими** и т.п. с общей тенденцией приблизить язык логики к естественному языку. Однако, если иметь в виду основной смысл логики как истинности во всех мыслимых мирах, то подобные расширения нельзя считать чистой логикой, поскольку такие понятия, как необходимость, возможность, долженствование, время и т.п. не присущи всем возможным мирам. **Поэтому упомянутые расширения логики фактически являются не логиками, а прикладными логико-математическими теориями**. В связи с этим возникает вопрос о возможности построения чистой логики в более широких языках, чем язык предикатов.

6. Непротиворечивость. Теория считается непротиворечивой, если она не содержит наряду с каким-либо предложением также и его отрицание. Для теорий с классической логикой это равносильно тому, что не всякое предложение принадлежит этой теории. Для теорий в достаточно широком языке утверждение о непротиворечивости теории может быть сформулировано на этом же языке. Поэтому можно пытаться доказывать непротиворечивость теории в ней самой. Однако ясно, что такое доказательство, если даже оно будет получено, не означает действительной непротиворечивости теории, поскольку в противоречивой теории всегда доказуема её непротиворечивость. Идея Гильберта не подчинена этому явлению, поскольку он предлагал **строить доказательство непротиворечивости сильно**

ограниченными средствами, которые он называл финитными. По его замыслу **такие средства должны гарантировать от проникновения в доказательство противоречий**. Однако отрицательные теоремы Гёделя исключают эту возможность для таких основополагающих теорий, как арифметика или теория множеств.

Так называемые «отрицательные» Теоремы Гёделя (в усиленном Россером варианте) утверждают, **что если формальная арифметика первого порядка непротиворечива, то она неполна и даже принципиально неполнима в том смысле, что в любом непротиворечивом рекурсивно аксиоматизируемом расширении арифметики существует неразрешимая замкнутая формула, т.е. недоказуемая формула, отрицание которой также недоказуемо (первая теорема Гёделя)**. Поскольку каждая замкнутая формула в интерпретации либо истинна, либо ложна, то это означает, что существует истинная арифметическая формула, не доказуемая в формальной арифметике. Вторая теорема утверждает, что при том же условии непротиворечивости в арифметике недоказуема формула, утверждающая непротиворечивость арифметики.

Главное значение этих теорем Гёделя состоит в том, что они показывают несостоятельность надежды на полную формализацию математики в языке первой ступени, в частности, как на средство доказательства её непротиворечивости. Это не означает, конечно, что формализация математических теорий вообще бесполезна. Поскольку по своей природе математика является дедуктивной наукой, представление её теорий в виде формальных исчислений является наиболее совершенной их формой, которая к тому же даёт возможность уточнить многие содержательные понятия не только в самой теории, но и в определённой части метатеории. Кроме того, расширение формального языка может существенно изменить описанную ситуацию, однако этот вопрос в достаточной мере ещё не изучен.

Поскольку непротиворечивость фактически определяет право на существование теории, совершенно необходимо было найти выход из создавшейся неопределенности. Вполне естественными являются две возможности: **во-первых, использование логики второй ступени, и во вторых, расширение математических правил вывода**. Обе эти возможности были

реализованы и привели к желаемым результатам. Так **непротиворечивость формальной арифметики была доказана с помощью таких естественных правил, как трансфинитная индукция, либо конструктивное правило Карнапа.** Более того, **формальная арифметика становится семантически полной при добавлении таких правил.**

Правило Карнапа (ω -правило, правило бесконечной индукции) имеет следующий вид: если для формулы $A(x)$ доказаны предложения $A(0), A(1), \dots, A(n), \dots$, то доказано предложение $\forall x A(x)$. Это правило без ущерба для основного результата можно заменить так называемым *конструктивным правилом Карнапа*: **если имеется алгоритм, который по любому натуральному числу n дает доказательство формулы $A(n)$, то доказано $\forall x A(x)$.** Здесь посылка задаётся уже конечным объектом – **алгоритмом**. Добавление к арифметике конструктивного правила Карнапа дает такой же эффект, что и добавление неконструктивного правила.

В свое время некоторые математики возражали против этих доказательств, считая такие правила слишком неконструктивными, однако теперь уже никто **не подвергает сомнению непротиворечивость формальной арифметики.** По-видимому, указанные правила являются вполне законными, поскольку, как показывает многолетний опыт, противоречиями они не угрожают. Фактически основанием запрета является не опасение противоречий, а прагматическая идеология, предъявляющая к математике такие же требования, как и к естественным наукам. В этом отношении история развития математики даёт нам целый ряд примеров, когда неоправданное требование аналогии математических понятий объектам реального мира накладывало априорный запрет на некоторые понятия, которые впоследствии прочно вошли в математику. Сначала математический мир не хотел признавать существования отрицательных чисел. Столкновение с иррациональными числами привело к отлучению на долгое время геометрии от арифметики. Мнимые и комплексные числа также как и отрицательные долгое время считались несуществующими и потому незаконными. Трудно объяснить подобную наивность, но похоже, что недоверие к правилу Карнапа носит такой же характер. Если с самого начала достаточно ясно, что новшество непосредственно не угрожает противоречием, а к тому же расширяет возможности соответствующей теории, то естественно считать его вполне

допустимым. Иллюстрацией может служить **аксиома выбора**, которая хотя и вызвала много возражений, однако ныне широко применяется в различных математических теориях, поскольку без неё невозможно получить многие важные результаты.

Следует заметить, что теоремы Гёделя не имеют места в арифметике второй ступени. Более того, в языке второй ступени существует конечная полная аксиоматизация арифметики натуральных чисел. Однако существуют серьёзные причины избегать неограниченного применения логики второй ступени, к числу которых относится, например, невозможность полной рекурсивной аксиоматизации этой логики.

1.4.6. О математике вообще

Можно привести ряд признаков, отличающих математику от естественных наук. Одним из них является тот факт, что (по крайней мере, в большей части современной математики) математические объекты не претендуют на роль адекватных аналогов реальных объектов. Более того, **наличие у формальной теории реальной (т.е. материальной) модели не может служить доказательством её непротиворечивости, поскольку идеальные математические объекты и отношения могут быть адекватно соотнесены только с идеальными же понятиями. Поэтому математика фактически является замкнутой в себе системой, а следовательно, и все её понятия и утверждения не должны зависеть от каких-либо внешних моделей.** В этом свете возражения неоминалистов против использования в математике некоторых теоретико-множественных понятий на том основании, что они не имеют реальных аналогий, являются совершенно несостоятельными.

В то же время с помощью математических теорий решаются многие задачи реального мира и предсказывается развитие некоторых процессов в нем. Этот факт свидетельствует об определённой **объективности абстрактных математических конструкций, но отнюдь не о какой-то зависимости математики от вещественных понятий.** Это свидетельствует также и об объективности классической логики, которая лежит в основе всех математических теорий (кроме интуиционистских, логика которых является фрагментом классической). В подтверждение этой точки зрения, которая оспаривается некоторыми математиками, приведем

высказывания известных математиков и физика.

М.Кац и С.Улам: «Математика – это замкнутый в себе микрокосм, обладающий, однако, **мощной способностью отражать и моделировать любые процессы мышления и, вероятно, всю науку вообще.** Она всегда приносила большую пользу и ещё в большей мере продолжает приносить её сейчас».

Е.Вигнер: «С одной стороны, невероятная эффективность математики в естественных науках есть нечто граничащее с мистикой, ибо никакого рационального объяснения этому факту нет. С другой стороны, именно эта непостижимая **эффективность математики в естественных науках выдвигает вопрос о единственности физических теорий.** Тем не менее важно подчеркнуть, что математическая формулировка результатов наблюдений физика, часто довольно грубых, приводит в неправдоподобно многочисленных случаях к удивительно точному описанию большого класса явлений. Это обстоятельство показывает, что математический язык следует рассматривать как нечто большее, чем просто язык, на котором мы должны говорить; оно показывает, что математика на самом деле является правильным (подходящим) языком. Чудесная загадка соответствия математического языка законам физики является удивительным даром, который мы не в состоянии понять и которого мы, возможно, недостойны. Мы должны испытывать чувство благодарности за этот дар. Следует надеяться, что он не покинет нас и в будущих исследованиях и что он будет – хорошо это или плохо – развиваться к нашему большому удовлетворению, а может быть, и к нарастающему беспокойству, расширяя область познания окружающего нас мира.

Поставленный в них вопрос о непонятной эффективности математики в описании реальных явлений оставлен без ответа. **Однако от ответа на этот вопрос зависит правильное понимание роли математики в познании реального мира – является ли математика лишь удобным языком, или её связь с реальным миром более глубокая.** Одна из гипотез, имеющая древнее происхождение, состоит в том, что мир устроен по математическим (и следовательно, идеальным) законам и потому математические теории адекватно описывают строение реального мира. Непосредственно в таком виде эта гипотеза, хотя и достаточно правдоподобна, но мало содержательна, поскольку не объясняет

существа самого явления. **Другая гипотеза** предполагает, что существует единая логика, присущая как человеческому мышлению, так и устройству реального мира. Эта гипотеза имеет косвенное подтверждение, основанное на предположении **единственности логики**, что выглядит весьма правдоподобно в силу **самого понятия логики, как истинности во всех мирах**. Тот факт, что логика (по крайней мере, основной её фрагмент) в наше время получила **полное формальное описание**, позволяет нам судить о логических, т.е. самых общих закономерностях реального мира, и потому в той мере, в какой эмпирические данные, играющие роль аксиом, соответствуют реальности, математические теории будут правильным описанием реальных закономерностей. Поэтому математика – это не просто удобный язык для описания реального мира, но и надежное эвристическое средство, позволяющее предсказывать неизвестные ранее явления, которые логически следуют из эмпирических аксиом.

Отметим некоторые особенности современной математики. В настоящее время математические теории разделяются на *формализованные* (т.е. являющиеся формальными системами) и *неформализованные*, которые будем называть *содержательными* или *интуитивными*. Последние строятся традиционно интуитивно, исходя из семантических свойств основных объектов. Построение математической теории в виде формального исчисления, **во-первых**, дает точное описание **всех** её постулатов - **аксиом** и, **во-вторых**, наличие **формального доказательства** какого-либо предложения делает абсолютным факт его следования **из аксиом теории**, поскольку правильность формального доказательства алгоритмически проверяема. Кроме того, для формальной теории имеется больше возможностей доказательства её метатеоретических свойств, в частности, непротиворечивости. В то же время формализация теории, предназначенной для изучения какого-либо содержательного объекта, в некоторых случаях может ограничить возможности теории в смысле полноты описания свойств этого объекта. Так обстоит дело, например, с формальной арифметикой натуральных чисел в языке первой степени, которая не полна по отношению к содержательной теории натуральных чисел и не может быть пополнена, что означает существование истинных арифметических предложений, которые не могут быть доказаны в формальной арифметике (т.е. формально не следуют из её аксиом). **Это явление иногда расценивается как отрицательное свойство всех формальных теорий, однако оно относится только к теориям**

в языке первой ступени. Что касается более богатых языков, то этот вопрос для них в достаточной мере ещё не изучен. Например, **в языке второй ступени формальная арифметика семантически полна.**

1.4.7. Что есть истина в математике

В естественных науках под истинностью какого-либо предложения (в языке данной науки) понимается определённая адекватность семантического значения этого предложения семантическому значению соответствующего предложения в “языке фактов”. Язык фактов – это естественный или символический язык, который используется для описания результатов наблюдений или экспериментов в какой-либо области реального мира. При этом по умолчанию предполагается, что **описание фактов адекватно самой реальности,** поскольку в противном случае теряется познавательное значение науки. Такое понимание научной истины обладает существенным недостатком: оно зависит от **тезауруса, т.е. накопленных ранее знаний и базовых языковых конструкций,** от технических достижений в области эксперимента и т.п., т.е. является **относительным и зависящим от времени.** С этим приходится мириться, поскольку других возможностей нет. Однако естественным и общепринятым свойством истины является её неизменность, т.е. независимость от времени и других условий. Прагматический подход к математике ставит математику в один ряд с естественными науками и потому не позволяет говорить о надёжной истинности её теорем. На самом же деле ситуация в математике принципиально иная: **как свидетельствует исторический опыт, однажды доказанные предложения – теоремы остаются доказанными (в данной теории) навсегда.** Например, в одном из литературных источников по этому поводу сказано следующее: «В одном отношении математика стоит особняком среди других наук: никакой её результат не может быть зачеркнут дальнейшим развитием науки. Однажды доказанная теорема уже никогда не станет неверной, хотя впоследствии может выясниться, что она является лишь тривиальным частным случаем какой-то более общей истины. Математические знания не подлежат пересмотру, и общий их запас может лишь возрастать». Одного этого достаточно, чтобы не сомневаться в прочности математического здания и высшей степени объективности доказанных математических истин. Тем не менее, в

свете современной математизации метаматематики следует рассмотреть этот вопрос с более формальных позиций.

Что же следует понимать под истинностью теорем в идеальной математике? Начиная с древности и до сравнительно недавнего времени **математические понятия рассматривались как идеализированные объекты реального мира, а математические аксиомы считались очевидными свойствами таких объектов.** Доказательство какого-либо утверждения представляло собой цепочку умозаключений, каждое из которых сохраняет истинность, идущую от бесспорных посылок. Поэтому считалось, что доказанность теоремы гарантирует её реальную истинность, так что эти понятия просто отождествлялись. При таком взгляде вопрос о непротиворечивости системы посылок не возникал. В новое время, когда математические понятия не соотносятся с реальными объектами, а модели математических теорий строятся внутри самой математики, сходное по форме понятие истинности изменилось по существу. Прежде всего, ссылка на содержательный («реальный») смысл исходных понятий и их свойств уже не считается гарантией непротиворечивости даже интуитивно построенной содержательной теории. Поскольку в противоречивой теории доказуемы и ложные предложения, то доказательство непротиворечивости теории (или, что то же, системы её аксиом) стало непременным условием истинности её теорем. Относительно доказательства следует отметить, что для формальных теорий понятие доказательства имеет точное формальное определение. При этом вопрос о том, является ли произвольная цепочка формул доказательством или нет, решается алгоритмически, т.е. объективно, и следовательно, множество доказательств разрешимо. (Заметим, что это не означает разрешимости множества теорем. Оно неразрешимо уже для чистой логики предикатов). Что касается неформальных доказательств, составляющих фактическое большинство и в наше время, то по современным меркам они должны быть настолько «логическими», чтобы был возможен перевод их в формальные. Можно сказать, что тезис Гильберта (см. п.1.4.4) теперь фактически является не гипотезой, а требованием, которому должны удовлетворять математические доказательства. Таким образом, одна компонента понятия истинности математических теорем – доказанность – выглядит вполне обоснованной. Подробнее о ней будет идти речь ниже. Иначе обстоит дело с непротиворечивостью, о чём мы также будем говорить ниже.

Итак, можно констатировать, что вопрос об истинности теорем сводится к вопросам правильности доказательств и непротиворечивости теорий. Ниже рассматриваются возможные решения этих вопросов не только для формальных, но и для содержательных теорий.

1.4.8. О доказательствах

В современной математике, в силу разделения ее языка на синтаксическую и семантическую части, возникли два понятия следствия из посылок. Одно из этих понятий, которое будем называть *логическим* или *дедуктивным*, совпадает с понятием логической выводимости (доказуемости) предложения A из посылок Γ , что обозначается обычно так: $\Gamma \vdash A$. Второе понятие, которое называют *семантическим*, связано с моделями множества Γ и состоит в следующем. Предложение A является семантическим следствием множества предложений Γ , если оно истинно в любой модели множества Γ , что обозначается так: $\Gamma \models A$. Поскольку логический вывод сохраняет истинность во всех интерпретациях, то ясно, что $\Gamma \vdash A$ влечет $\Gamma \models A$. Обратное не столь очевидно, но оно следует из теоремы Гёделя о полноте. Таким образом, эти понятия оказываются равносильными, и следовательно, **если Γ – это система аксиом теории, то выводимость (доказуемость) формулы A из Γ равносильна ее семантической истинности в этой теории.**

Теорема Гёделя о полноте утверждает, что всякое непротиворечивое множество формул (в языке предикатов первой степени) имеет модель. Отсюда следует, что для любой замкнутой формулы A , если $\Gamma \models A$, то $\Gamma \vdash A$. Действительно, предположим, что $\not\vdash (\Gamma \vdash A)$. Можно доказать, что тогда множество $\Gamma, \neg A$ - непротиворечиво и потому по теореме Гёделя оно имеет модель, в которой формула $\neg A$ истинна, а это противоречит тому, что $\Gamma \models A$. Поэтому $\vdash (\Gamma \models A)$, откуда по правилу контрапозиции, если $\Gamma \models A$, то $\Gamma \vdash A$. Отсюда же следует и семантическая полнота исчисления предикатов первой степени.

Все доказательства предложений любой математической теории можно разделить на два вида. **К первому виду отнесём такие доказательства, которые касаются только синтаксических свойств теории без ссылок на какую-либо интерпретацию.**

Таковыми, например, являются все формальные доказательства в формальных теориях, которые фактически являются выводами слов в языке теории из аксиом строго по логическим правилам. Будем называть такие доказательства *синтаксическими*. **Второй вид – это доказательства, апеллирующие к каким-либо интерпретациям языка теории.** Назовем их *семантическими*. Как уже было сказано выше, правильность формального синтаксического доказательства устанавливается алгоритмически, и следовательно, можно сказать, вполне надёжно. Согласно тезису Гильберта (см. п.1.4.4), всякое неформальное доказательство имеет формальный эквивалент и потому мы можем считать надёжным любое синтаксическое доказательство.

Доказательства второго вида содержат апелляцию к семантике, которая, как правило, не является аксиоматической теорией и не всегда может быть аксиоматизирована (как это имеет место для содержательной арифметики). Поэтому посылки таких доказательств черпаются из заранее не определённого множества содержательных предложений такой теории. Хотя для всякого семантического доказательства можно получить синтаксический аналог, если формализовать соответствующую содержательную теорию, однако последнее не всегда возможно по разным причинам. Тем не менее для каждого семантического доказательства существует возможность получить синтаксический эквивалент путём аксиоматизации не всей теории, а только её фрагмента, содержащего посылки доказательства. Такую возможность даёт **теорема компактности**, из которой следует, что **для всякой теоремы A какой-либо теории T существует конечно аксиоматизируемый фрагмент T_1 этой теории, в котором доказуема теорема A . Это утверждение верно как для формальных так и для неформальных теорий.** Будем называть его *принципом локальной формализации*. Этот принцип имеет очень важное следствие: при оценке какого-либо семантического (содержательного) доказательства в неформальной теории можно выделить **конечно аксиоматизированный** фрагмент теории, содержащий синтаксический эквивалент этого доказательства. Этот процесс достаточно эффективен (финитен). Таким образом, **принцип локальной формализации позволяет оценку правильности семантического доказательства сводить к оценке синтаксического доказательства.** Подчеркнём, что здесь речь идёт о проверке правильности доказательств, безотносительно к непротиворечивости всей теории.

1.4.9. О возможности надежного доказательства непротиворечивости теорий

Рассмотрим теперь вопрос о возможности надежного доказательства непротиворечивости теорий. Как мы уже отмечали на примере арифметики, нужный результат может быть получен путем расширения логических средств доказательства дополнительными правилами. Другая возможность - доказательство непротиворечивости теории путем построения математической модели - может быть вполне убедительной, если непротиворечива сама модель и отображение теории в модель в сильном смысле конструктивно (финитно). Поскольку моделью как правило является содержательная математическая теория, то может показаться, что мы попадаем в безвыходную ситуацию: чтобы доказать непротиворечивость теории, нужно построить какую-либо её модель, которая в свою очередь принадлежит теории, непротиворечивость которой также должна быть доказана. Подчеркнём, что модель непременно должна принадлежать **математической** теории (не обязательно формальной), т.е. **не должна апеллировать к каким-либо реальным понятиям**. Практически такую ситуацию очень часто удается избежать путем построения в сильном смысле **финитной** модели, непротиворечивость которой невозможно подвергнуть сомнению. Наглядным примером этого является доказательство непротиворечивости логики предикатов первой степени, которое мы рассмотрим в п. 1.4.10.

Отмеченная нами надежная правильность формальных доказательств, помимо прочего, основана на непротиворечивости формальной математической логики, что также требует доказательства. Каким образом вырваться из возникающего здесь круга, мы продемонстрируем в п.1.4.10. До этого непротиворечивость логики предикатов (первой степени) примем как факт.

Вопрос о непротиворечивости теорий более трудный, чем вопрос о доказательствах. Для формальных теорий он несколько облегчается чёткостью постановки и существованием различных подходов, например, таких, как использованные для доказательства непротиворечивости арифметики (см. п.1.4.7). Если теория не формальная, то далеко не всегда удаётся найти прямое доказательство её непротиворечивости. В этом случае приходится апеллировать к непротиворечивости какой-либо её модели, в которой

истинны все аксиомы теории или, по крайней мере, посылки рассматриваемого доказательства. Как правило, удаётся построить содержательно более простую модель, чем исходная теория, и таким образом упростить задачу.

Определённую уверенность в непротиворечивости содержательно построенных математических теорий создаёт распространённое (по крайней мере, среди математиков) мнение, что **исходные понятия, лежащие в основе любой математической теории, имеют объективный характер и не являются только произвольным плодом свободной человеческой фантазии.** Вопрос об объективности математических понятий, безусловно, выходит за рамки математики, однако, как показывает исторический опыт, большинство математиков и философов всегда считало и считает математические объекты принадлежащими в том или ином смысле **реальному миру идей**, который так же непротиворечив, как и материальный мир. В подтверждение этого мнения приведём одну цитату: «Каковы бы ни были философские оттенки, в которые понятие математических объектов окрашивалось у того или иного математика или философа, имеется по крайней мере один пункт, в котором они единодушны: это то, что эти объекты нам *даны* и не в нашей власти приписывать им произвольные свойства так же, как физик не может изменить какое-либо природное явление. ... и даже сегодня не один математик, афиширующий непримиримый формализм, в глубине души охотно подписался бы под следующим признанием Эрмита: *Я полагаю, что числа и функции Анализа не являются произвольным созданием нашего ума; я думаю, что они существуют вне нас с такой же необходимостью, как и предметы объективной реальности, и мы их встречаем или открываем и изучаем их так же, как физики, химики и зоологи.*»

Непротиворечивость мира идей нуждается в пояснении, поскольку существуют противоречащие друг другу идеи. Однако противоречивость каких-либо идей означает только их принадлежность разным мирам, подобно тому, как в математике существуют противоречащие друг другу теории, например, аксиоматики разных геометрий, непротиворечивые порознь, противоречивы в совокупности. Поэтому, как наличие противоречащих друг другу теорий не означает противоречивости всей математики, так и **существование противоречащих друг другу миров не означает противоречивости мира идей.** Впрочем, подобную картину можно наблюдать даже в физике, когда разные

подходы приводили к противоречивым описаниям одного явления, что отнюдь не означает противоречивости реального мира.

Признав объективность исходных понятий, мы с необходимостью вынуждены будем признать и объективность их свойств, выраженных аксиомами теории. Это, конечно, ещё не доказывает непротиворечивость всякой математической теории, однако вселяет надежду на возможность такого доказательства, и даже - интуитивную уверенность в этом. Противники такой точки зрения обычно ссылаются на канторовскую теорию множеств, исходные объекты которой являются настолько простыми и естественными, что не вызывают никакого сомнения в их объективности. Однако, на наш взгляд возникающие там противоречия вызваны не характером исходных понятий и их свойств, а тем, что их язык оказывается настолько широким, что позволяет определять внутренне противоречивые ситуации и понятия, например такое, как «множество всех множеств» (см. п. 1.4.3). Подобное явление присуще и естественному языку в силу его универсальности, что выражается в существовании различных «реальных» противоречий вроде «парадокса лжеца» и др. Надо сказать, что любую математическую теорию, путём введения новых понятий или чрезмерного расширения объёма её понятий можно сделать противоречивой. Поэтому введение новых понятий не только в формальную, но и в содержательную теорию должно сопровождаться тестом на непротиворечивость.

Вполне возможно, что гарантировать от противоречий такую универсальную теорию, как теория множеств, можно только путём её формализации. При этом получить единую формализацию, удовлетворяющую всевозможные потребности различных направлений математики, скорее всего не удастся, однако это означает только объективное многообразие логических возможностей в математике, но отнюдь не какую-то трагедию неопределённости.

Таким образом, резюмируя сказанное, мы можем **определить понятие истинности предложений в математике как формальную доказуемость в непротиворечивой теории.** Тем самым вовсе не игнорируется семантическое понимание истинности теорем в той модели, для изучения которой предназначена данная теория, поскольку при непротиворечивой логике формальное

доказательство теоремы гарантирует её истинность в модели. В следующем пункте в качестве примера мы рассмотрим одно из доказательств непротиворечивости логики предикатов первой ступени.

1.4.10. Непротиворечивость логики предикатов

Как уже говорилось, **классом моделей логики предикатов первой ступени является множество всех алгебраических систем соответствующей сигнатуры, т.е. эта логика состоит из всех тех и только тех формул, которые истинны в любой алгебраической системе**. В данном случае мы не можем рассчитывать на формальное доказательство, поскольку оно использует формальную логику, непротиворечивость которой нам нужно ещё доказать. Таким образом, уже на самом первом этапе построения формальной математики мы вынуждены прибегнуть к **содержательным, т.е. интуитивно построенным доказательствам**. К счастью, доказательство непротиворечивости исчисления предикатов первой ступени настолько просто реализуемо финитно, что не может вызвать никаких сомнений в его правильности. Для доказательства непротиворечивости этого исчисления достаточно рассмотреть одноэлементную модель, на которой все его формулы однозначно переходят (отображаются) в формулы так называемого *исчисления высказываний* (см. ниже). При этом все аксиомы переходят в тавтологии (тождественно истинные формулы), а правила вывода сохраняют тавтологичность формул (т.е., **если посылки правила являются тавтологиями, то и заключение также тавтология**). Таким образом, все **доказуемые формулы исчисления предикатов в одноэлементной модели переходят в тавтологии**. Поскольку легко привести пример формулы, не переходящей в тавтологию, то это означает существование недоказуемых формул, а значит и непротиворечивость исчисления предикатов. Таким образом, непротиворечивость логики предикатов первой ступени мы можем считать надёжно доказанной. (Разумеется, приведенные здесь рассуждения являются только схемой доказательства, но все необходимые детали описываются вполне финитно).

Логика высказываний (пропозициональная логика, булева алгебра) является важным фрагментом логики предикатов. Её основателем считается Дж.Буль (1815 – 1864). Множеством ее объектов являются два *логических значения* – “истина” и “ложь”,

обычно обозначаемые буквами 1 и 0. Ее формулы строятся из этих констант и переменных с помощью тех же логических операций, что и формулы логики предикатов, за исключением кванторов. Собственно логика высказываний состоит из тавтологий – формул, которые при любой подстановке констант 1 и 0 вместо переменных принимают значение 1. Логика высказываний, представленная в виде аксиоматической системы называется *исчислением высказываний*. Его непротиворечивость легко доказывается вполне финитными средствами. Название “булева алгебра”, с одной стороны, указывает на ее создателя, а с другой – на тот факт, что она совпадает (изоморфна) с двуэлементной алгеброй с так называемыми *булевыми операциями*. Булева алгебра является моделью исчисления высказываний, ее операции умножения, суммы и дополнения интерпретируют логические операции конъюнкции, дизъюнкции и отрицание.

Исчисление предикатов является расширением исчисления высказываний путём добавления в алфавит предметных переменных, предикатных и функциональных символов, а также кванторов \forall и (или) \exists , что приводит к соответствующему расширению понятия формулы. Аксиоматика исчисления предикатов получается добавлением к аксиомам и правилам вывода исчисления высказываний аксиом и правил вывода для кванторов.

К сожалению, для многих математических теорий такой способ доказательства непротиворечивости не проходит, поскольку для них не существует более простой модели, чем основная (которая обычно называется *стандартной*). Такими теориями являются, например, арифметика и теория множеств. О доказательствах непротиворечивости арифметики говорилось в п. 1.4.7. Что касается теории множеств, то в настоящее время существует несколько версий ее аксиоматизации, каждая из которых обладает своими достоинствами и недостатками, так что говорить о ее окончательном построении еще рано. Наиболее вероятно, что различные варианты будут существовать и развиваться параллельно, подобно тому, как существуют различные геометрии. На это указывает, например, несовместимость аксиом выбора и детерминированности, каждая из которых даёт важные положительные результаты, так что нет оснований для предпочтения какой-либо одной.

1.4.11. Заключение

1. Разногласия во взглядах на истинность математических теорем в конечном счёте сводятся к разному пониманию отношения математики к реальному миру. Абсолютизация человеческих представлений о реальном мире, характерная для людей не только древности, но и современности, привела к ряду заблуждений в оценке места математики среди других наук. Поверхностное восприятие того факта, что зарождение и в значительной мере дальнейшее развитие математики происходило путём решения прикладных задач, послужило распространению прагматической точки зрения на математику, хотя при более глубоком анализе обнаруживается принципиальная независимость математики от реального мира, точнее – от наших представлений о нём. В наше время это тем более очевидно, что благодаря более глубокому пониманию роли и возможностей науки, понятие «реальный мир» потеряло свою однозначность и фактически обозначает целый спектр виртуальных миров. В то же время в математике с помощью формализации основных конструкций происходит постоянное уточнение важнейших интуитивных понятий, что с одной стороны способствует избавлению от некоторых иллюзий, а с другой – создаёт уверенность в объективности математических результатов - **объективности в мире идей**. В этом отношении представляет интерес следующее мнение некоторых философов: «Незаметное смешение общих философских понятий иногда ведёт к осязательным ошибкам в философии математики. Так, часто из того факта, что математика применяется на практике, делается вывод, что математическая теория в своей истинности проверяется или обосновывается практикой. Такой вывод может получиться только при смешении таких понятий, как опыт и практика, истинность и содержательность. Мы можем утверждать, что математическая теория стимулируется практикой в своём развитии, что она отражает реальность, *содержательна* (в смысле возможного соответствия некоторой системе реальных связей), но отсюда не следует, что она проверяется на опыте, подобно эмпирическим теориям, что ей присуща *истинность* [в прагматическом смысле] или что она обосновывается посредством использования. Такие смешения ведут к искажению сути математического знания со всеми проистекающими отсюда методологическими заблуждениями».

“Кризис” в математике, вызванный использованием

чрезмерно расширенного понятия множества, привёл в конечном счёте к самому значительному прогрессу в математике, в результате которого математика освободилась от несвойственных ей ограничений, налагаемых на неё попытками связать её с реальными моделями. Благодаря созданию **формализованной математической логики и, соответственно, математических понятий доказательства и непротиворечивости, метаматематическое понятие истинности окончательно приобрело однозначный внутриматематический характер: теорема истинна, если она формально-логически следует из аксиом непротиворечивой теории.** Такое понятие истинности абсолютно в том смысле, что оно не зависит от каких-либо неоднозначных внешних условий. **Какими бы средствами ни были решены вопросы о доказательстве выводимости и непротиворечивости, указанное понятие истинности сохраняется.** Поскольку развитие математики представляет собой монотонный процесс в сторону расширения накопленных знаний, когда ничто из достигнутого не отбрасывается (мы видим, к чему привели попытки интуиционистов нарушить эту монотонность), то **возможные изменения (расширения) математического языка и, соответственно, логики могут изменить содержание, но не характер (сущность) понятия истинности в математике.** При этом вопрос о доказательстве непротиворечивости теорий стал более острым и сложным. Если раньше для обоснования непротиворечивости было достаточно указать подходящую реальную модель, то теперь этот критерий стал несостоятельным. Благодаря тому, что вопрос приобрёл чёткий математический смысл, его решение также должно быть только математическим. **«Отрицательные» теоремы Гёделя, казалось бы сделали эту задачу для важнейших математических теорий безнадежной – в рамках принятого языка и логики, однако для такой основополагающей теории как арифметика были найдены математические доказательства, использующие более широкие средства доказательства, чем традиционные.** Эти средства вполне естественны для математики и в наше время уже не вызывают возражений. Таким образом, значительная часть математики получила прочное математическое обоснование (учитывая тот факт, что для многих математических теорий существуют арифметические модели). В этом свете снизился интерес к доказательству непротиворечивости других формальных теорий, поскольку в них столь же трудно ожидать противоречий, как и в арифметике. Особое место занимает теория множеств, которая по-видимому должна разделиться на несколько параллельных ветвей, но чтобы судить об

этом, требуются дополнительные исследования. В наше время содержательная теория множеств развилась в обширную и глубокую ветвь математики, тесно связанную со многими другими областями математики, и в непротиворечивости которой трудно сомневаться. Похоже, что все парадоксы связаны только с понятием множества всех множеств, а также с самоприменимыми предикатами, с помощью которых обычно формулируются «реальные» парадоксы. **Что касается понятия множества всех множеств, то его с самого начала трудно признать законным математическим объектом, хотя бы потому, что оно не удовлетворяет такому естественному свойству всякого множества, как возможность его расширения.** Во всяком случае без этого понятия (и равносильных ему) в содержательной теории множеств (как и в формальных) противоречия не обнаруживаются. Здесь, пожалуй, имеет смысл сослаться на одну цитату: «С другой стороны, при доказательствах «относительной» непротиворечивости (т.е. при доказательствах, устанавливающих непротиворечивость данной теории в предположении непротиворечивости другой теории, например Теории множеств) математическая часть рассуждения ... настолько проста, что даже не представляется возможным подвергнуть её сомнению, не отказываясь при этом от всякого рационального употребления наших умственных способностей. Так как ныне различные математические теории привязываются в отношении логики к Теории множеств, то отсюда следует, что всякое противоречие, встреченное в одной из этих теорий, дало бы повод противоречию в самой Теории множеств. Это, конечно, не есть аргумент, позволяющий заключить о непротиворечивости Теории множеств. Однако за 40 лет [*теперь уже более 80-ти – авт.*] с тех пор, как сформулировали с достаточной точностью аксиомы Теории множеств и стали извлекать из них следствия в самых разнообразных областях математики, ещё ни разу не встретилось противоречие, и можно с основанием надеяться, что оно и не появится никогда».

2. Чрезвычайно важно отметить, что хотя формализация математической логики и понятия доказательства сыграла кардинальную роль в развитии математики, получение новых математических результатов происходит, и по-видимому, будет происходить в дальнейшем в основном интуитивным образом (точнее во взаимодействии интуитивных и формальных средств). Поэтому вопрос о природе и значении интуиции отнюдь не упраздняется с формализацией математики. Как отмечалось в п.1.4.4, математическая интуиция не потеряла своего значения как средства

доказательства, что выразилось в тезисе Гильберта, который утверждает **эквивалентность интуитивных и формальных доказательств**. Истинность этого тезиса не вызывает сомнений хотя бы потому, что он превратился в фактическое условие правильности доказательства. В эвристическом же отношении интуиция по-прежнему остаётся основным средством получения доказательств. К сожалению, до сих пор изучением этого явления занимались только философы, хотя вопрос о природе интуиции заслуживает научного изучения.

Выводы

1. Математика является замкнутой в себе наукой, не нуждающейся в каких-либо внешних критериях истинности её теорем. В то же время она с большим успехом используется для решения естественнонаучных задач. Это обстоятельство послужило поводом считать математику естественной наукой, предназначенной для изучения реального мира, и таким образом критерий истинности её теорем был выведен за пределы математики и поставлен в зависимость от «реальных фактов». В наше время, когда не только математические, но и многие метаматематические понятия приобрели точный формальный смысл, несостоятельность такой точки зрения стала вполне очевидной, во-первых, потому, что не существует адекватного соответствия идеальных математических понятий реальным аналогам, и во-вторых, естественнонаучные истины имеют относительный характер, поскольку зависят от накопленных экспериментальных данных и в особенности от их интерпретации, в то время как математические понятия и факты являются абсолютными, не зависящими от каких-либо внешних условий.

2. В математике истинность теоремы отождествляется с выводимостью (доказуемостью) её из непротиворечивой системы посылок (аксиом). *Вывод* или *доказательство* представляет собой дедуктивную цепочку, каждый шаг которой обосновывается каким-либо логическим правилом, принадлежащим формальной математической логике. Фактически подавляющее большинство доказательств содержат шаги дедукции, основанные на интуитивной очевидности. Поэтому требуется, чтобы интуитивно очевидные шаги имели логический эквивалент. Как правило интуитивные доказательства этому требованию удовлетворяют, что позволило

принять соответствующий тезис, названный тезисом Гильберта, об эквивалентности интуитивных и логических доказательств.

3. Вопрос о непротиворечивости математических теорий до 19-го века практически не возникал, поскольку считалось, что математические понятия отражают свойства реального мира, которые не могут быть противоречивыми. К тому же, кроме ссылки на какую-либо реальную модель, не существовало других средств доказательства непротиворечивости. К концу 19-го века этот вопрос назрел, а в 20-м веке, благодаря формализации математических теорий, получил возможность решения математическими средствами. При этом было осознано, что ссылка на реальную модель не является доказательством непротиворечивости, поскольку не существует адекватного соответствия идеальных математических понятий реальным объектам.

Следует заметить, что вопрос о непротиворечивости математики в целом не имеет смысла, поскольку в достаточно развитой математике, каковой является современная математика, обязательно должны существовать непротиворечивые теории, объединение которых противоречиво. Поэтому речь может идти только о непротиворечивости отдельных теорий, например, формальной арифметики или формальной теории множеств и т.п. Подчеркнём, что речь идёт в основном о формальных теориях, поскольку содержательно («наивно») построенные теории не столь уязвимы со стороны противоречивости, как формальные, ибо содержательная теория не предстаёт перед нами в целом, а только - в виде построенного к данному времени фрагмента, непротиворечивость которого, как правило, обеспечивается в процессе его построения. Поэтому вопрос о непротиворечивости наиболее актуален для формальных теорий и в основном в связи с общей проблемой оснований математики. В этом направлении в 20-м веке получено много кардинальных результатов, существенно расширивших и углубивших наши представления о математике. Разумеется, многие важные проблемы, как в области математической логики, так и в области основополагающих математических теорий (например, теории множеств) остаются нерешенными, но это явление естественно для всякой науки.

В заключение следует отметить, что математика не вписывается в принятое деление наук на естественные и гуманитарные, и ей более подходит особый статус *универсальной науки*.

2. Классификация предметов объективной реальности (истин) как начальный этап представления информации

2.1. Введение в научную классификацию и таксономию

Классификация (от лат. *classis* — разряд, класс), — система соподчиненных понятий (классов объектов) какой-либо области знания или деятельности человека, используемая как средство для установления связей между этими понятиями или классами объектов. То есть **КЛАССИФИКАЦИЯ** — это система понятий какой-либо области знания или деятельности человека. **Классификация** — процесс *группировки объектов* исследования или наблюдения в соответствии с их общими отличительными *признаками*. В результате разработанной классификации создается *классифицированная система* (часто называемая так же, как и процесс — классификацией). **Научная классификация** выражает систему законов, присущих отображенной в ней области действительности. Различают *естественные классификации*, основания которых — существенные признаки объектов (напр., периодическая система химических элементов), и искусственные классификации, в которых используются несущественные признаки; к *искусственным классификациям* относятся т. н. вспомогательные классификации (алфавитно-предметные указатели, именные каталоги в библиотеках).

Окружающий мир может быть представлен как субъект-объектное многообразие носителей информации. В нашей жизни повседневно мы постоянно занимаемся тем, что группируем или как-то выделяем предметы и вещи из общего нашего окружения, то есть постоянно занимаемся *классификацией*. Куртка зимняя, саморез, полотенце, хлеб черный и так далее и тому подобное. Почему куртка зимняя - потому что по внешним признакам она скорее

всего теплая. Почему саморез, а не гвоздь или болт - опять же по внешним признакам. Вот эти внешние признаки и определяют в данном случае такие понятия как куртка зимняя и саморез. Эти два понятия являются системой понятий. *То, что мы группируем предметы по определенным признакам или свойствам называется классификацией.* А собрать признаки и свойства для описания группы или понятия называется *таксономией.* Являясь в большей или меньшей степени условной (соответственно субъекту её осуществляющему и его восприятию «общности признаков»), классификация может позволить упростить общение людей ее применяющих (в случае, если это восприятие «общности признаков» само оказалось достаточно общим). Например, можно использовать понятие монотонной функции, не обращаясь каждый раз к определению, выделяющему это подмножество функций из множества функций вообще.

ТАКСОНОМИЯ (от греч. taxis — расположение, строй, порядок и nomos — закон), *теория классификации и систематизации сложноорганизованных областей действительности, имеющих обычно иерархическое строение (органический мир; объекты географии, геологии, языкознания, этнографии; консультируемые проблемы и т. д.).* Термин (предложен в 1813 швейцарским ботаником О. Декандром) длительное время употреблялся как синоним систематики. В 60-70-х гг. 20 в. возникла тенденция *определять таксономию как раздел систематики, как учение о системе таксономических категорий, обозначающих соподчиненные группы объектов — таксоны.* Если сформулировать это коротко, то получится что **ТАКСОНОМИЯ** - это теория **классификации и систематизации.**

ТАКСОНОМИЯ - это знания системы понятий и их систематизации.

Таксономия занимается тем, что *разрабатывает систему понятий и признаки, описания, свойства по которым можно будет определять что в это понятие входит.* Например, понятие инструмент. Определим это понятие как то, что помогает человеку выполнять работу. Инструмент может быть механический и электрический, садовый и столярный. Вот уже есть *система понятий*, описывающая инструмент. В данном случае понятиями здесь выступают: инструмент механический, инструмент электрический, инструмент садовый, инструмент столярный. Теперь осталось добавить к этим понятиям *признаки, описания и перечень свойств* по которым можно определять относится предмет к инструменту электрическому или инструменту

садовому и у нас готовая *система классификации*. **Таксономия** - *процесс создания систем классификации*. Исключительно сложное строение системы органического мира, серьезные трудности, с которыми приходится сталкиваться при построении теории этой системы (отсутствие во многих случаях ясной границы между таксонами, порождаемая этим необходимостью оперировать огромными множествами признаков и свойств), стимулировали многочисленные попытки теоретического, в том числе формального, обоснования таксономии и её основных категорий (так называемая численная, или нумерическая таксономия.). Эти попытки позволили привлечь в таксономии методы современной математики, но пока еще не привели к общепринятым фундаментальным результатам. Таксономии следует рассматривать в отношении к информации, т. е. *деление информации по каким либо признакам называется таксономией*. То есть, *определение о чем будет фрейм (сайт), какая информация будет представлена в фрейме (сайте), какие темы эта информация будет освещать и как определить куда, в какие темы, будет добавляться новый материал и есть таксономия*. Допустим наш фрейм (сайт) о геометрических фигурах. Будем описывать геометрические фигуры. Чтобы как то упорядочить информацию о фигурах будем её группировать по характерным чертам этих фигур (понятиям): размер, форма, цвет и так далее. Вот этот *процесс* определения как делить информацию о фигурах по их характеристикам и *есть таксономия* в данном конкретном случае.

2.2. Место классификации в теории истин и информации

Классификационные методы и процедуры широко применяются в научном исследовании для решения самых различных задач распознавания истин и информации. Достаточно строго и четко проведенная классификация одновременно подытоживает результаты предшествующего развития данной отрасли познания, а именно - общей теории распознавания истин и информации, и вместе с тем отмечает начало нового этапа в ее развитии. Такая классификация обладает большой эвристической силой, позволяя предвидеть (предсказать) проявление неизвестных ранее признаков зависящих объектов, которые требуют вскрыть новые связи и зависимости между уже известными признаками. Достаточно вспомнить, например, классификацию химических элементов, осуществленную Д. И. Менделеевым на основе открытого им

периодического закона. Она не только позволила Менделееву предсказать существование и свойства химических элементов, но и послужила основанием для дальнейших исследований, углубивших наши представления об их природе. В классификации, таким образом, отчетливо проявляется диалектический характер развития научного знания: *процесс получения нового знания в определенной мере детерминирован уже имеющимся знанием и вместе с тем новое знание оказывается несводимым к старому как более глубокое, более организованное, более упорядоченное.*

Полям применения классификационных процедур являются *объекты (процессы, явления)* практически всех научных дисциплин, а также и сама система наук в целом. По словам известного логика Х. Зигварта, «классификация всей совокупности того, что содержит Вселенная, являлась бы вообще — если представить себе ее в ее завершении — последним и самым зрелым результатом эмпирического исследования... логически самым завершенным познанием, заключающим в себе все». Можно согласиться с такой высокой оценкой значимости классификационной процедуры, хотя в скольконибудь обозримом будущем едва ли можно рассчитывать на приближение к такой всеобъемлющей классификации. Пока же классификация используется для решения широкого круга познавательных задач, и не случайно в глазах представителей как разных наук, так и пределах одной науки, создание классификации расценивается по-разному. В настоящее время наиболее интенсивно, на наш взгляд, вопросы классификации разрабатываются в биологии, геологии, системологии, науковедении и др.. Параллельно происходит обмен классификационными методами между разными областями знаний, все более широко внедряются в практику классификации различные методы *логики и математики*. Происходит становление общей теории классификации, постепенно выявляются ее методологические аспекты.

Каковы же в общих чертах особенности построения классификаций в различных областях научного знания? В математике содержательная классификация аксиоматически определенных объектов возникает чаще всего как завершение некоторой области исследований, как некий «окончательный» результат, вскрывающий сущность изучаемого класса объектов. Примерами такого рода результатов могут служить теоремы о приведении матриц к жордановской нормальной форме (дающей полный перечень инвариантов линейного преобразования), теорема о спектральном представлении самосопряженных операторов в гильбертовом пространстве, классификация простых групп Ли и т. п. Все подобные классификации строятся по следующему принципу.

Сначала аксиоматически определяется некоторый класс математических объектов путем формального описания некоей теории. Затем выясняется, что с точностью до некоторого естественного в данных условиях изоморфизма все модели этой теории могут быть описаны «конструктивно» — заданы определенной структурой. Между аксиоматическим определением и конструктивным описанием всех допустимых возможностей и простирается собственно история конкретной области математики.

На практике все происходит не столь гармонично, каждая область математики варьирует разные аксиоматические определения и корректирует их в зависимости от того, получается ли «интересная» классификация определяемых объектов и отвечают ли эти объекты некоторому интуитивному представлению о них. Естественно, что в наиболее интенсивно развивающихся областях математики классификации не закрыты, но ставят все новые проблемы. В фундаментальных разделах физики отчетливее видно противопоставление «*дескриптивных*» классификаций, позволяющих просто привести к удобному виду накопленные результаты, и «*структурных*» классификаций, позволяющих увидеть сущность классифицируемых объектов. Так, например, *известные фундаментальные частицы делятся по заряду, спину, массе, странности, по участию в разных типах взаимодействий. Это «дескриптивные» классификации*. С другой стороны, какие-то группы частиц удается проклассифицировать по каким-то типам симметрии. Например, строятся теории о кварковой структуре частиц, позволяющей описать все существующие и возможные частицы как *некоторые структуры* из гипотетических субчастиц — кварков. Получение такой классификации есть цель физики элементарных частиц.

В такой гуманитарной науке, как лингвистика, наряду с чисто *дескриптивными классификациями* (генетическая классификация языков, классификация частей речи, различные классификации лексики и т. п.), возникающими в ходе начального процесса накопления данных, есть и четкие *структурные классификации* (классификация фонем по дифференциальным признакам и звуков по артикуляционным признакам, классификация языков по четырем строям и т. п.), каждая из которых является своеобразной вершиной развития определенной области лингвистики. Однако в большинстве естественных, технических и гуманитарных науках мы имеем дело только с «дескриптивным» делением объектов изучения, необходимым для дальнейшего их исследования. В частности, примерно такой статус имеют классификация живых организмов в биологии или существующие

классификации наук, используемые в информатике. В биологии смысл таксонов разного ранга нередко считается неодинаковым. Существует точка зрения, согласно которой реальны только таксоны более низкого ранга (виды, в крайнем случае роды и семейства), тогда как остальные таксоны — абстракции. Вместе с тем предпринимаются попытки создания формализованных процедур биологической классификации с применением методов логики и математики. В частности, важный шаг в этом направлении был сделан Дж. Р. Греггом. Ему принадлежит одна из первых попыток формализации таксономических понятий, аксиоматизации таксономии и изложения некоторых ее теорем на языке теории множеств. При этом он опирался на выполненную Дж. Вуджером формализацию понятий «иерархия» и «уровень иерархии». Следует, однако, отметить, что Грегг, как и многие другие теоретики таксономии, не касался *неиерархических классификаций*. Ограниченность формализации Грегга сказывается также и в том, что для него содержательная классификация организмов (другие объекты его не интересовали) сводится к *разбиению их множества на подмножества*. Он не учитывал, что еще в XVIII веке была введена и постепенно стала основной иная ***последовательность классификационной работы*** — не «сверху», от крупных таксонов к мелким, а «снизу», то есть путем постепенного объединения объектов в низшие таксоны, а этих таксонов — в таксоны более высокого ранга. В силу этого предложенная Греггом формализация таксономических процедур не оказала заметного влияния на практику биологической классификации. В рамках теории классификации рассматривается весь спектр возможных классификаций на шкале «Экстенциональность — интенциональность». *На одном полюсе находятся классификации экстенциональные, дескриптивные, использующие внешние характеристики объектов, а на другом полюсе — классификации интенциональные, сущностные.*

2.3. Таксономия и мерономия

Целесообразно различать понятия «таксономия», «классификация» и «систематика». Под *классификацией* будем понимать разбиение любого множества (класса) объектов на подмножества (подклассы) по любым признакам. *Систематикой* будем называть установление такой упорядоченности объектов, которая приобретает статус привилегированной системы, выделенной самой природой. Это примерно то же, что и естественная

классификация (система).
Таксономией назовем учение о любых классификациях с точки зрения структуры таксонов и признаков. Таксономия — это аспект метаклассификации.

Экстенциональное описание таксономии (классификации) ограничивается выделением особых подмножеств (таксонов) классификационного поля и установлением между ними обычных теоретико-множественных отношений (включение, пустого или непустого пересечения). С этой точки зрения **иерархическая классификация экстенционально соответствует случаю, когда множество всех таксонов образует *дерево* по отношению включения, а множество таксонов, соответствующих произвольному срезу дерева, образует *разбиение классификационного поля***. Наоборот, **комбинаторная (фасетная) структура таксонов экстенционально определяется тем условием, что в таксонах можно выделить такие группы (фасеты), образующие разбиения классификационного поля, когда любой таксон есть пересечение таксонов из некоторых фасетов**.

Интенциональный подход заставляет расширить классификационное поле до классификационного универсуума, состоящего не только из наличных, но и из всех мыслимых объектов, а вместо структуры таксонов рассматривать двойственную ей структуру классификационных признаков. Такое понимание интенционального подхода, видимо, недостаточно. В самом деле, **интенционалом предиката**, по Р. Карнапу, называется класс всех мыслимых объектов, для которых этот предикат истинен. Тем самым предполагается, что именно **интенционал предиката есть экспликация того, что интуитивно понимается под смыслом**. Но тогда **смысл сам по себе не существует, а лишь раскрывается в классе мыслимых денотатов**. Исходя из этого тезиса, *структуру признаков с их значениями можно было бы рассматривать как изоморфную структуре соответствующих таксонов в классификационном универсууме*. В этом случае у значений признаков нет никаких свойств, внеположенных соответствующим таксонам в классификационном универсууме. Для дальнейшего изложения нам необходимо уточнить, что есть **понятие**. Мы будем рассматривать **неотвлеченные понятия**, то есть такие, имя которых может означать конкретный предмет, явление или ситуацию, а **не признак таковых**. Иначе говоря, мы будем изучать понятия типа лошадь, продажа, красный, а не такие, как лошадность, продажность, краснота. Мы будем отличать имя понятия (слово, выражающее понятие) от самого понятия.

Объем понятия — это класс объектов, воплощающих данное понятие, или, иначе, класс (в том числе мыслимых) денотатов имени этого понятия. (По Р. Карнапу *класс мыслимых денотатов есть интенционал имени, то есть связан скорее не с объемом, но с содержанием понятия.*) Рассмотренный класс объектов удобно назвать **таксоном**, ассоциированным с данным понятием. Содержание понятия естественно отождествить с концептом имени понятия, то есть, согласно Г. Фреге, **с информацией, которую это имя несет о денотате имени. Под денотатом имени подразумевается любой объект, к которому это имя приложимо.** Это содержание мы будем далее связывать с некоторой *структурой (архетипом)*, которую можно обнаружить во всех объектах соответствующего таксона. Тем самым *имя несет ту информацию об объекте, что в нем присутствует данный архетип.* Заметим, что имя понятия одновременно служит именем таксона (в русском языке оно может в этом случае переходить во множественное число: понятие «лошадь» — таксон «лошади»). Именем архетипа можно было бы считать соответствующее отвлеченное понятие (в данном примере «лошадность»). Описанное выше соотношение между понятием и его «окружением» иллюстрируется схемой на рис. 1.



Рис. 1.

Архетип понимается нами как *структура частей (морфология) и внешних функциональных связей (экология) объекта.* Эти элементы, из которых складывается архетип, мы будем называть **меронами**. Поэтому можно сказать, что **мерон** — это обобщенная часть архетипа, и отношение мерона к архетипу есть не отношение

элемент — множество, но отношение типа часть — целое, понимаемое в широком смысле слова. Это отношение можно дифференцировать, различая отношения часть — целое, цель — средства и т. п. Тем самым структура архетипа характеризуется некоторым списком отношений. В свою очередь, каждому мерону архетипа соответствует свое понятие. Совокупность этих понятий образует **тему** (*тематическую область*), обозначаемую тем же именем, что и исходное понятие. (В тему «лошадь» входят понятия «копыто», «грива», «овес», «седло» и т. п.).

Классификационная система при такой трактовке понятия — это система понятий, связанных родо-видовыми отношениями, которая определяет соответствующую структуру таксонов. Собственно структура таксонов составляет таксономическую компоненту классификации, или **таксономию**. Последнюю можно трактовать как экстенциональный аспект классификаций. Систему архетипов, соответствующих классификационным понятиям, равно как методы обнаружения архетипов в классификационных объектах, относят к **мерономии**.

Итак, **интенциональный аспект классификации** мы будем теперь связывать с **мерономией**, поскольку именно архетип как структура меронов оказывается содержанием понятия (концептом имени). Недостаточность чисто таксономического подхода к проблемам классификации состоит в том, что мы рассматриваем интенциональные отношения между признаками, но природа интенционала нигде явным образом не фигурирует. Так, например, хотя и говорится, что признак должен делить таксон на части по общему основанию, этот принцип никак не удастся формально эксплицировать. Дело в том, что интенционал по Р. Карнапу отождествляется с самим понятием. Иначе говоря, само понятие отождествляется с идеей, которая воплощается в объектах, образующих соответствующий таксон. Однако естественнее считать, что идеей является не само понятие, но его содержание (концепт имени понятия) — некоторая **абстрактная структура**. **А понятие есть уже синтез своего объема и содержания**.

Объем понятия — это таксон, обозначаемый именем этого понятия. Можно говорить о *реальном объеме понятия* — множестве истин реального мира и о *мыслимом (идеальном) объеме* — множестве мыслимых объектов, обозначаемых именем этого понятия.

Содержание понятия — это некоторая структура (архетип), которая может быть сопоставлена определенным образом каждому элементу таксона в классификационном универсуме и только этим элементам. Ввиду этого мы будем рассматривать классифицируемые объекты в мерономии не просто как целостные образования, но как

объекты, которым присуща некоторая **структура (архетип)**.
Ниже мы перейдем к точным определениям, а пока примем, что
архетип *членится* *на* *мероны*.

Архетип — это структура частей и внешних связей (те и другие являются меронами), присущая всем объектам данного таксона.

Исследование форм живого путем сведения их к общим архетипам, начиная от Гете, лежало в основе биологической морфологии.

Поясним, что такое архетип, на простом примере.

Рассмотрим понятие «стол» (в значении «предмет мебели»). В любом столе можно

выделить **три мерона**: рабочая поверхность (крышка, доска), основание (ножки, тумбы) и назначение стола. Первые две части (мероны) связаны между собой отношением «на». Первый и третий —

отношением «для». В стандартном обеденном столе основание само

членится на мероны (отдельные ножки). В некоторых обеденных

столах (раздвижных) рабочая поверхность членится на два мерона:

основную и дополнительную (скрытую в нераздвинутом состоянии)

поверхности. В письменных столах выделяются мероны — тумбы, а в

письменных столах типа «бюро» есть дополнительный мерон —

картотека на поверхности стола. В этом примере отчетливо виден

важный принцип — **меньшим таксонам соответствуют более**

сложные архетипы.

Итак, **таксону соответствует некоторый архетип** — структура,

обнаруживаемая во всех объектах таксона и только в них.

Помимо меронов в архетипе (как некоторых частей абстрактной

структуры), нужно рассматривать и мероны в конкретных объектах

таксона, то есть *реальные части и связи этих объектов*. Благодаря

тому, что во всех объектах таксона обнаруживается присущий им всем

архетип, мероны этих объектов можно поставить во

взаимоднозначное соответствие — **биекцию**, сохраняющую как

отношение часть — целое, так и другие специфичные для архетипа

отношения.

Мероны, находящиеся во взаимоднозначном соответствии,

называются гомологами, а процедура установления соответствия —

гомологизацией.

Говоря, что гомологичные мероны двух объектов таксона — это те,

которые соответствуют одному и тому же мерону общего архетипа, мы

подразумеваем, что **гомология является следствием существования**

общего архетипа для данного таксона. Но существует точка зрения,

когда сначала устанавливается гомология между элементами как

некоторое отображение их структур друг на друга, а затем архетип

таксона вводится как инвариант этих отображений. В свою очередь,

только возможность установить гомологию между любыми парами

объектов, принадлежащих к определенному таксону, придает смысл самому понятию мерона. Скажем, понятие «копыто» возникает только тогда, когда мы научились сопоставлять между собой роговые образования на ногах у всех обладающих ими животных. Более того, после установления гомологии между конечностями высших позвоночных (тетрапод) мы можем говорить, что у змеи конечности редуцированы. Сам *процесс установления гомологии нетривиален*. Не так уж очевидно, что крыло птицы — это гомолог передней конечности млекопитающих, а крыло летучей мыши — гомолог кисти у человека. Иногда установление конкретных гомологий в данном таксоне позволяет обнаружить присущий ему архетип и тем самым убедиться в законности выделения таксона. Иногда уже выделенный архетип используется при обнаружении гомологии в таксоне и определении естественных границ таксона. ***Чаще всего оба этих подхода образуют компоненты некоторой итеративной процедуры научного исследования.***

Подчеркнем существенность разницы между отсутствием мерона в архетипе (конечности у растений) и мероном в нулевом состоянии (конечности у змей). Во втором случае есть гомология с остальными тетраподами, а в первом случае гомологии почти нет. Слово «почти» означает, что гомология между, скажем, веткой и конечностью в действительности останется, если мы выведем общий архетип древесного растения и млекопитающего. В таком резко обедненном архетипе останутся лишь такие обобщенные мероны, как «осевая часть» (ствол дерева, позвоночный столб), «аппендикулярные части» (ветки, конечности) и т. д. Итак, *весь круг вопросов, связанный с описанием структуры архетипа и составляющих его морфологических (экологических) частей — меронов, мы будем называть мерономией и связывать с интенционалом классификации*. Этот термин следует сопоставить с термином *мереология*, принадлежащим польскому логичу С. Лесневскому, который имел в виду ***построение формальной теории членения объектов на части***. Эта теория, по его мысли, призвана была заменить классическую теорию множеств. Мы считаем, что мерономия есть область, двойственная таксономии, то есть не замена, но дополнительное (в смысле Н. Бора) **теоретико-множественному описанию реальности, а именно интенциональный аспект классификации**.

Как мы видели выше, в *мерономии* возможен *реалистический* подход (через обнаружение общего архетипа, задающего гомологии объектов) и *номиналистический* подход, при котором вначале устанавливаются частные гомологии, а это уже дает возможность путем абстракции

перейти к архетипу. При обоих подходах появляется возможность говорить о *структуре меронов в данном архетипе*. Каждый мерон может находиться в разных **состояниях (иметь разные модальности)**. Тогда каждому мерону в архетипе таксона можно сопоставить признак, действующий на этом таксоне, одноименный с данным мероном, а **значения этого признака будут соответствовать состояниям (модальностям) мерона**.

Состояния некоторого мерона m в архетипе T можно интерпретировать как корреспонденцию (отображение) некоторого другого архетипа T' на T , при которой все мероны, кроме мерона m , имеют единственный прообраз (см. рис. 2). Каждая из допустимых корреспонденций указанного типа — это состояние мерона m .

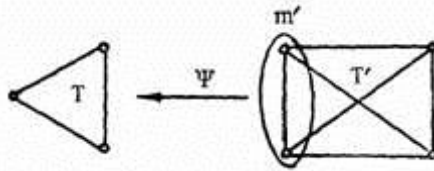


Рис. 2.

Например, наличие у травоядных млекопитающих гомологичного мерона «копыто» позволяет выделить таксоны «парнокопытных» и «непарнокопытных», соответствующие возможным состояниям этого мерона.

Итак, каждому архетипу (в мерономии) соответствует свой таксон (в таксономии). Отметим, что *в таксон, соответствующий данному архетипу, входят все мыслимые объекты из классификационного универсума, в которых данный архетип может быть обнаружен регулярным и корректным с определенной точки зрения методом*. Тем самым архетип раскрывает содержание понятия, одноименного с таксоном. Например, «слон» как понятие имеет содержание типа: «живой организм, имеющий определенное строение (в частности, обладающий хоботом)».

Построим общую картину *соотношения между таксономией и мерономией*. Эта картина схематически изображена на рис. 3 и постулирует следующую *связь между таксономическими и мерономическими категориями*.



Рис. 3.

Таксон в классификационном универсуме характеризует (идеальный) объем понятия — множество (или, точнее, класс) всех мыслимых объектов, которые можно назвать именем понятия, иными словами, класс объектов, воплощающих данное понятие. Имя этого таксона, вообще говоря, совпадает с именем понятия во множественном числе. В языках с артиклями имя понятия (= имя таксона) употребляется с неопределенным артиклем, а таксон состоит из всех объектов, к которым применимо то же имя с определенным артиклем. **Содержание понятия** — это архетип, присущий каждому из объектов таксона. **Архетип проявляется при исследовании понятия как синдром признаков, по которым можно членить понятие.**

Перейдем теперь ко второй горизонтали на рис. 3. Понятие можно делить по некоторому основанию на *видовые понятия*. Для этого необходимо ввести признак, позволяющий выделить в нем видовые понятия. Заметим, что **имя признака может совпадать с именем понятия («цвет» — понятие и признак) и не совпадать («лошадь» — понятие, «масть» — признак; «стол» — понятие, «назначение» — признак).** Важно, что «область действия» признака совпадает с таксоном или является более широкой. Вообще говоря, таких признаков может быть много, но мы на рис. 3 описываем ситуацию, связанную только с одним из них. Выбранное основание деления понятия определяет членение таксона в таксономии. Если признак **дистинктивный** (то есть **принимаящий на каждом объекте таксона**

ровно одно значение), то это расчленение задает разбиение таксона на непересекающиеся подтаксоны, в противном случае — покрытие пересекающимися подтаксонами. В мерономии естественному признаку отвечает один мерон. Это и означает, что **признак дает членение таксона по единому основанию**. Наконец в *третьей* горизонтали мы от членения таксона переходим к определенному подтаксону, от основания деления понятия — к видовому понятию, отвечающему конкретному значению признака, а от мерона к конкретному состоянию — корреспондирующему архетипу. На рис. 4 изображено содержание этих переходов в таксономии и мерономии.

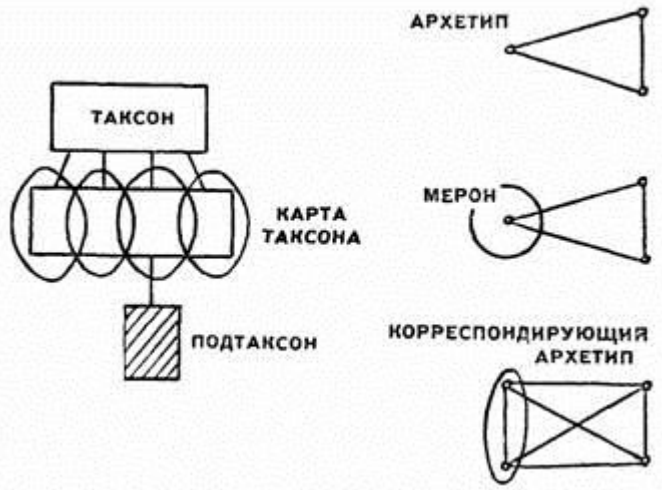


Рис. 4.

Смысл рассмотренной картины можно изобразить в виде следующей диаграммы, где φ — соответствие, которое таксону t сопоставляет архетип T , а ψ — правило корреспонденции архетипов:

$$\begin{array}{ccc}
 t_1 & \xrightarrow{\varphi} & T_1 \\
 \downarrow & & \uparrow \psi \\
 & \varphi & \\
 t_2 & \xrightarrow{\quad} & T_2
 \end{array}$$

Эта диаграмма для математика означает, что теория классификации есть *функтор*, отображающий категорию таксонов по вложению в категорию архетипов. **В этом, по-видимому, содержится направление дальнейшего развития данной теории.** С точки зрения традиционной логики здесь имеется экспликация известной **двойственности (закона обратного отношения)** между *объемом и содержанием понятия*. Вполне очевидно, что *таксон есть объем понятия*. Также же ясно, что *архетип есть экспликация содержания понятия*. Из приведенной диаграммы следует, что *увеличение содержания понятия (переход к более богатому архетипу) соответствует уменьшению объема понятия*. Самый бедный архетип соответствует всему классификационному универсууму. Самый богатый — минимальному таксону (в пределе — *таксону, состоящему из одного объекта с бесконечным набором признаков*). Эта ситуация в точности соответствует известному закону обратного соотношения между *объемом и содержанием понятия*. **Рассмотренная схема есть основной блок классификационной системы.** Так, проведя членение по одному признаку, мы можем вернуться к исходному таксону и провести членение по другому признаку, соответственно выбрав другой мерон. Несколько таких повторений дадут комбинативную (фасетную) структуру на первоначальном таксоне. Наоборот, применение этой же процедуры на выделенных при первом ее проведении подтаксонах приводит к появлению иерархии таксонов и признаков. Определение содержания понятия через архетип естественно сопоставить с определением смысла (семантики) слова через некоторую *ассоциированную структуру понятий*. Эти понятия (соответствующие меронам) могут быть не менее сложными, чем определяемое понятие. Скажем, строение живой клетки в известном смысле не проще, чем строение организма. Ведь клетка содержит генотип организма, а элементы клетки способны к очень сложному поведению. Поэтому определение содержания понятия через архетип никак не связано с редукцией понятия к простейшим. Это совсем разные постановки проблемы. **Идеальная (интенциональная, сущностная) классификационная система имеет дело со структурой архетипов, раскрывающих сущность соответствующих понятий.** Так, периодическая система элементов (таблица Менделеева) связывает каждый элемент с определенной структурой электронной оболочки, а разные изотопы (не отличимые как элементы) имеют изоморфные электронные оболочки, различаясь между собой составом и строением атомного ядра. Но при практической классифицировании

объектов мы обычно используем целый ряд *сопутствующих (диагностических) признаков*, которые не содержатся непосредственно в архетипе, но коррелированы с ним. Так, мы обнаруживаем железо по его способности притягиваться к магниту, а новорожденного слепого котенка относим к кошкам, поскольку он родился от кошки.

2.4. От логики к практике классификации истин и информации

Хотя литература по теории классификации огромна, нельзя сказать, чтобы это обилие революционизировало классификационную практику. Такая сравнительно низкая эффективность теории не связана только с тем, что теория слишком возвышена, а практика слишком «приземлена». Существует предположение, что в теоретических разработках поставлены граничные условия, препятствующие продуктивному приложению теоретических заготовок к конкретным предметным областям.

В предыдущем разделе была сделана попытка показать, что при традиционном, чисто таксономическом подходе к проблемам классификации остается в стороне природа *интенционала*. Явно или неявно предполагается, что нам заранее *даны и предметная область и архетип объектов* (то есть **совокупность их меронов с уже установленными соответствиями**). Но дело в том, что классификатору-практику все это не дано в окончательном виде. В ходе классифицирования меняется набор используемых признаков, соответственно меняется и гомология меронов. Это влечет изменение структуры архетипа и объема таксона. Иными словами, сама **классификационная работа ведет к изменению как объема, так и содержания исходных понятий предметной области.** Именно потому классификация — **это и цель и инструмент познания**. Как заметил Дж. С. Милль, **классификация заставляет идеи о предметах сопровождать одна другую, дает власть над уже приобретенным знанием и ведет к приобретению нового знания**. Ясно, что чисто экстенциональный таксономический подход не может справиться с этой задачей без поддержки мерономии с ее интенциональной ориентацией. Соответственно **аппарат таксономии должен быть существенно дополнен аппаратом мерономии, описывающим процедуры выделения меронов, установления их соответствия, то есть выведения архетипа**. Можно сказать, что **такого формального аппарата мерономии пока не имеет**, хотя некоторыми разработками можно воспользоваться уже сейчас,

например, взяв их из теории симметрии. Выше говорилось, что в архетип объекта входят как внутренние (*морфологические*), так и внешние (*экологические*) связи. Ясно, что классификационное исследование меняет по крайней мере наше представление о таких внешних идеальных связях, как *сходство или различие*. Уже одно это, не говоря о том, что в ходе исследования происходит изменение набора признаков (а при взвешивании признаков — и изменение их веса), приводит к тому, что на выходе классификационного исследования мы получаем *иную систему не только таксонов, но и архетипов* этих таксонов. Так же обстоит дело и в мерономическом исследовании. Углубляя представление об архетипе, оно неизбежно сказывается на представлениях о таксономических отношениях объектов. Таким образом, в конкретном классификационном исследовании с логической неизбежностью *взаимопереплетаются таксономические и мерономические процедуры*. Это и должно найти отражение в алгоритме классификации, если таковой претендует на продуктивность. **Насколько нам известно, алгоритмы, в полной мере отражающие эту связь, пока не найдены.** Попытаемся теперь разобраться в том, как практически осуществляется переход от *конкретной предметной области к классификационному полю и от объекта к архетипу*. Прежде всего заметим, что ни одному классификатору не доводится столкнуться с совершенно девственной, не затронутой хотя бы какой-то классификацией предметной областью. Ему не приходится иметь дело и с объектами, о которых он ничего не знает, т. е. архетип которых ему неведом. Такая ситуация означала бы абсолютную неграмотность классификатора в области классификации, что противоречит условию задачи, ибо исходное множество (класс) объектов обратилось бы в пустое. Поскольку это не так и поскольку практика классификации имеет дело с *существующими* или хотя бы *мыслимыми объектами*, то уже из этого следует, что *выделение этих объектов из универсуума происходит с помощью некоторого архетипа, пусть гипотетического*. **Раз мы ставим классификационную задачу, значит, существующая классификация нас не устраивает.** В общем случае это означает необходимость пересмотра наличных мерономических представлений. Так как архетип любого таксона неисчерпаем, то учитываемый в таксономическом анализе архетип не может претендовать на окончательность. То же можно сказать об *объеме и структуре таксона*. Таким образом, *связь таксономии и мерономии становится рекурсивной* (рис. 5), а классификация неизбежно строится *методом последовательных приближений*.

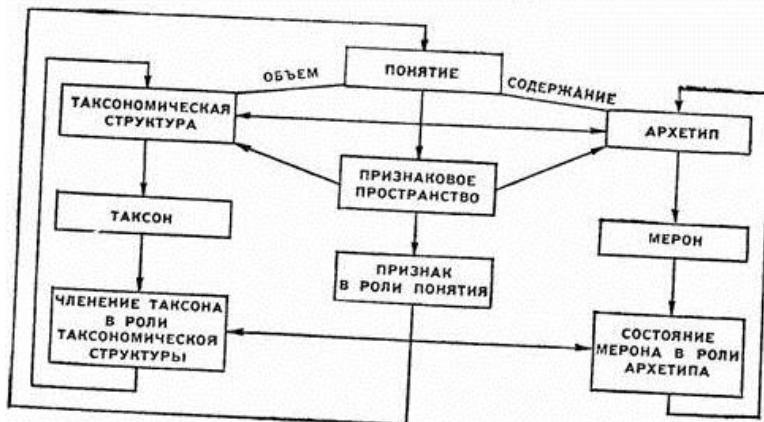


Рис. 5.

На каждом этапе последовательных приближений таксон можно рассматривать как *нечеткое множество*, в котором мы умеем выделить некоторое «ядро». Попытка установить гомологии между объектами из ядра дает нам некоторый архетип, который затем проверяется на соответствие со всеми объектами таксона. Те из объектов (не входящих в ядро), которые этому архетипу не соответствуют, исключаются из таксона. Наоборот, в таксоны могут добавляться новые объекты, в которых обнаруживается данный архетип. Вместе с тем архетип ядра таксона берется не произвольно, а на основе некоторого исходного архетипа, полученного на предыдущем шаге *метода последовательных приближений*. Такова общая схема, допускающая различные реализации на практике. Здесь, однако, уместен вопрос: о приближении к чему идет речь? Где та идеальная цель, к которой стремится классификатор? Этот вопрос возвращает нас к затронутой в начале проблеме *«естественной классификации (системы)»*.

2.5. Место естественного образования структуры классификаций истин и информации

У. Уэвелл сформулировал критерий, отличающий естественные классификации от искусственных: *чем больше общих утверждений*

об объектах дает возможность сделать классификация, тем она естественнее. Иными словами, классификация тем более естественна, чем более существенные связи она отражает. Этот критерий точнее сформулировал А. А. Любищев: «**Наиболее совершенной системой является такая, где все признаки объекта определяются положением его в системе.** Чем ближе система стоит к этому идеалу, тем она менее искусственна, и **естественной системой следует назвать такую, где количество свойств объекта, поставленных в функциональную связь с его положением в системе, является максимальным.**» Поскольку при этом *объекты группируются в таксоны не произвольно, а так, что между ними устанавливается наибольшее количество связей,* то естественная система (классификация) приобретает статус системы, отвечающей многим критериям реальности: **объективности** (в том числе воспроизводимости), **надежности** (стабильности, помехоустойчивости), **прогностической силы** и др. Иными словами, есть все основания постулировать (утверждать), что привилегированное положение некоторых классификаций, обычно разрабатываемых в каждой предметной области, не является просто данью прагматизму. Оно подкрепляется выделенностью соответствующей «естественной» таксономической (и мерономической) структуры самой природой. Это положение принято иллюстрировать естественной системой организмов и системой элементов Менделеева. Существование в каждом конкретном случае естественной системы среди возможных дескриптивных классификаций — очень важный *методологический постулат.* Для его принятия недостаточны никакие эмпирические основания. Из того, что в определенных случаях удастся обнаружить естественную систему, никак не следует ее существование в общем случае. Основания в пользу принятия такого постулата имеют двоякий характер. С одной стороны, имеются онтологические доводы, состоящие в том, что **архетип существует в некотором естественном многообразии.** Это многообразие и порождает естественную систему объектов с фиксированным исходным архетипом. С другой стороны, **постулат о существовании естественной системы имеет эвристическую ценность,** стимулируя процесс последовательного уточнения таксонов и меронов, который без указанного постулата теряет направленность. *Второй,* не менее важный, постулат состоит в признании **единственности естественной системы.** Принятие этого постулата является не столь обязательным, как принятие первого. В самом деле, *само наличие привилегированных систем не означает, что в каждой*

предметной области с необходимостью должна быть лишь одна такая система. Поскольку каждое явление входит в сферу действия различных законов и поскольку мы не можем полностью абстрагироваться от субъект-объектных отношений, следует допускать как принципиальную возможность существования нескольких привилегированных систем в одной предметной области, так и известную субъективность самой этой привилегированности. Эта субъективность следует, во-первых, из того, что познающий субъект сталкивается с неисчерпаемыми объектами (**принцип неисчерпаемости архетипа**). Во-вторых, принципиально невозможно на каждом объекте удостовериться в наличии всех известных (даже наиболее весомых) систематических признаков. Ведь последние часто устанавливаются путем применения сложных методов исследования или их установление дается ценой уничтожения объекта (например, чтобы определить такой важный признак организма, как состав ДНК в ядре клетки, надо применить сложные биохимические и иные методы исследования, разрушив конкретное ядро и закрыв тем самым пути для его дальнейшего исследования). Многие признаки поэтому изучаются на выборочных объектах, а затем полученные данные просто экстраполируются на другие объекты того же таксона на основе гипотезы о корреляции этих признаков с более легко наблюдаемыми. Последние обстоятельства привносят в практику классификации естественных объектов принцип **«негэнтропии информации»**: для получения исчерпывающей информации об объекте (то есть для построения полного архетипа) необходимо затратить неограниченное количество энергии. Поэтому в общем случае абсолютно естественная система недостижима и остается высокой целью, к которой нужно стремиться, несмотря на все практические и теоретические трудности.

В заключение изложения основ теории классификации отметим, что **любая научная теория, - это прежде всего научная классификация объектов, которые изучает данная теория.** В общей теории истин и информации выделим четыре базовые группы образований, которые будем классифицировать, руководствуясь изложенной выше основой теории классификации. К этим видам образований относятся:

- распознаваемая истина (объект, процесс, явление),
- лицо, распознающее объект (ЛРО),
- метод распознавания (процесс, алгоритм),

- система распознавания (система автоматизированного распознавания).

Эти виды образований находятся в следующей взаимосвязи: задачи, возникающие при распознавании истины (объекта, процесса, явления), решаются лицом, распознающим объект путем реализации метода распознавания (процесса, алгоритма) средствами распознаваемой системы (системы автоматизированного распознавания). Результатом такого взаимодействия являются распознанные истины по признакам, сформулированным в задаче распознавания.

Ниже будут рассмотрены принципы классификации приведенных выше видов образований, которые изучаются в теории истин и информации.

2.6. Нечеткие классификации истин и информации

Общепризнана фундаментальная роль понятия «классификация» в процессе мышления. Многие авторы работ в этой научной области, разработали различные математические подходы для моделирования этого понятия в контексте систем, которые слишком сложны для того, чтобы их можно было описать в рамках классических понятий, и которые требовали подходов, значительно отличающихся от традиционных. Сказанное относится, например, к проблемам, связанных с науками: лингвистикой, психологией, информатикой и др.

При классически-рациональном подходе, если $\Sigma = \{A_1 \dots A_n\}$ — классификация множества истин S , т. е. если $A_1 \cup \dots \cup A_n = S$ и $A_i \cap A_j = \emptyset$, $i \neq j$, то бинарное отношение C , определенное на S условием $(x, y) \in C$ тогда и только тогда, когда $x \in A_i$ и $y \in A_j$, есть не что иное, как отношение эквивалентности и, наоборот, если C — отношение эквивалентности, определенное на S , то множество классов эквивалентности представляет собой классификацию множества истин S . Таким образом, «отношение эквивалентности на S » и «классификация истин S » — тождественные понятия.

Классификация возникает в результате установления связей между истинами множества, выяснения того, какие из них нужно, а какие нельзя рассматривать связанными некоторым отношением. В классической модели не могут остаться истины, не охваченные классификацией (**принцип исключенного третьего**), истины, проклассифицированные дважды (**принцип непротиворечия**), т. е.

попавшие одновременно в два класса. Это, конечно, желаемый результат, но при любой постановке проблемы таксономии могут встретиться элементы неопределенной и сомнительной классификации, для которых можно говорить лишь о степени принадлежности к классам. В этом случае булева логика оказывается неприменимой и выявляется важность собственной глубинной логики возникшей проблемы.

Вопрос в том, всегда ли нужно классифицировать истины, чтобы увеличить знание о них. Обычно этот вопрос решается построением последовательности все более «тонких» классификаций. В результате останавливаются на классификации, которая удовлетворяет определенному критерию. При такой процедуре каждый раз увеличивается число различий, которые мы в состоянии провести между истинами и из S (строится более «тонкая» классификация), но также растет и число разумных градаций степеней неопределенности или нечетких вопросов. Модель становится более сложной, но зато интерес к проблеме возрастает. За исключением случая, когда разрастание классификации вызвано стремлением изучить различающие характеристики всей совокупности истин в целом, как при построении таксономического дерева биологических видов или таблицы Менделеева, чрезмерный рост числа классов вряд ли приведет к улучшению наших знаний об истинах.

Для таких проблем, по-видимому, пригоден обобщенный подход. Заде предложил «единую точку зрения на различные разработанные ранее методы решения такого рода проблем, возникающих в факторном анализе, числовой таксономии, в задачах распознавания образов и анализе близости». Эта точка зрения опирается на теорию нечетких множеств или, точнее, на нечеткие отношения, — **обобщение понятия отношения эквивалентности на нечеткие множества**, что привело к понятию **отношения сходства** и позволило применить теорию отношений в ситуациях, в которых, как уже указывалось, рассматриваемые классы не имеют ясно очерченных границ.

После появления работ Заде многие авторы исследовали различные теоретические и практические аспекты нечетких отношений, однако связи между нечеткими разбиениями (или нечеткими классификациями) изучены слабо. А поскольку обе проблемы тесно связаны, то не существует и общепринятого определения нечеткого разбиения.

С другой стороны, последнее понятие понадобилось для продвижения вперед в смежных проблемных областях, где его применение в той или иной форме приводило к интересным результатам. В качестве примера можно указать на случай, когда уже упоминавшиеся

семейства разумных вопросов рассматриваются с помощью введения понятия нечетких алгебр, порожденных нечеткими разбиениями. Поскольку в любой неопределенной логике важную роль играет **уровень симметрии принятой модели многозначной логики**, то целесообразно прояснить понятие **уровня** строгим определением в терминах рассматриваемого нечеткого разбиения. Например, поскольку нечеткие алгебры, рассматриваются как алгебры де Моргана, замкнутые относительно преобразований Ватанабэ, то введенные определения нечеткого разбиения должны быть адекватными задаче анализа результатов таких преобразований, с их помощью как бы описываются инварианты. Однако при этом не должно возникнуть уверенности, что источником нечеткости служит четкая основа, что означало бы принятие посылки о достоверном существовании инвариантного ядра четкости в любом нечетком понятии. Это напоминает о связи данной проблемы с вопросами существования сильной зависимости между евклидовой геометрией, аристотелевой логикой и кантианской метафизикой.

В рассматриваемом разделе дается общая основа для исследования связей между нечеткими разбиениями и отношениями подобия. Для пояснения цели изучения, кратко рассматривается классический случай. Напоминается, как покрытия и четкие разбиения можно описать через отношения сходства и эквивалентности. Даются естественные обобщения покрытия и отношения сходства на нечеткий случай. Лемма 1 п. 2.6.2 показывает, как для каждого покрытия Σ нечеткого множества U можно построить отношение сходства R_Σ на U ; обратное утверждение формулируется в теореме 1 п.2.6.2, где вводятся понятия предкласса и класса отношений похожести. Покрытие интерпретируется через нечеткие отображения, а нечеткие отношения похожести также описываются через нечеткие отображения. Отношения сходства изучаются как важный частный случай отношений нечеткой похожести. При заданном покрытии Σ нечеткого множества U теоремы 1 и 2 п.2.6.3 устанавливают необходимые и достаточные условия того, что R есть отношение подобия, и исследуются связи между классами подобия и классами, рассматриваемыми в п. 2.6.2. Затем определяется нечеткое разбиение Π как покрытие, характеризуемое отношением подобия, ассоциированным с Π -множеством классов подобия в S ; такое частное разбиение характеризуется теоремой 5 п.2.6.3. Наконец, на основе предыдущих результатов обобщаются на нечеткий случай понятия фактор-множества и канонического отображения. В результате совершенно ясной становится аналогия между представленной в разделе теорией нечетких разбиений и классической теорией четких разбиений.

2.6.1. Истины и их свойства

В этом разделе рассматриваются общие механизмы «похожести» и «одинаковости». Однако их следует расценивать только как мотивацию более детального рассмотрения, проводимого в следующих разделах.

Пусть M — конечное множество истин и N — конечное множество свойств, таких, что любая истина $a \in M$ обладает, по крайней мере, одним свойством $i \in N$. Если через P_i обозначить подмножество всех истин $a \in M$, которые обладают свойством i , то, очевидно,

$$M = \bigcup_{i \in N} P_i. \quad (1)$$

В более общем случае истины множества N могут рассматриваться как названия или «имена» свойств, а подмножества P_i — как «модели» этих свойств. Любое семейство подмножеств множества M , удовлетворяющее (1), называется покрытием множества истин. Обратное, если дано покрытие (1) множества M , то P_i можно рассматривать как свойство «истина принадлежит множеству P_i » с именем i . В этом смысле существует взаимнооднозначное соответствие между семействами свойств и покрытиями.

Этой конструкцией порождается очень важный механизм отношений сходства. Именно, будем говорить, что *две истины сходны, если они наделены общим свойством*. Формально это понятие похожести можно описать следующим образом. Пусть R — бинарное отношение на M , определенное условием

$$xRy, \text{ тогда и только тогда, когда существует } i \in N, \text{ такое, что } x, y \in P_i. \quad (2)$$

Отношение R — рефлексивное и симметричное. Такие отношения называются отношениями *сходства*. Легко видеть, что определенное согласно (2) отношение сходства, вообще говоря, не обязательно должно быть транзитивным. Заметим, однако, что нетранзитивность обычно возникает вследствие сравнения по **различающимся параметрам или свойствам**. Пусть, например, автомобили a и b одного и того же цвета, а b и c — одной и той же цены. Тогда a сходно с b и b сходно с c , но a и c могут отличаться по цвету и цене.

Понятие отношения сходства дает более абстрактное описание похожести, чем описание на языке покрытий. Пусть R — отношение сходства, определенное на множестве M , т. е. некоторое рефлексивное и симметричное отношение. Мы будем говорить, что x сходно с y тогда

и только тогда, когда xRy . Свойства **рефлексивности и симметрии** наиболее общим образом характеризуют **похожесть**. И тем не менее оказывается, что отношения сходства дают описание похожести, эквивалентное описанию с использованием понятия покрытие. А именно, для любого данного отношения сходства существует покрытие, которое по условию (2) порождает это отношение. Таким образом, имеются два эквивалентных механизма похожести, нечеткие обобщения которых будут изучаться далее.

Есть один очень важный частный случай описанной структуры, когда каждая истина из M обладает точно одним свойством из набора N . Он называется проблемой классификации. В этом случае к условию (1) добавляется условие

$$P_i \cap P_j = \emptyset \text{ при } i \neq j. \quad (3)$$

Покрытия, удовлетворяющие (3), называются разбиениями. Легко проверить, что для разбиений отношение сходства, определенное согласно (2), транзитивно, т. е. представляет собой отношение эквивалентности. Такие отношения лежат в основе математических моделей обиходного понятия «одинаковости». В этом случае в распоряжении оказываются двойственные описания классификации: через разбиения и отношения эквивалентности. Обобщение этой конструкции на теорию нечетких множеств будет изучаться в п. 2.6.2. В заключение заметим, что далее вместо термина «отношение эквивалентности» будет использоваться термин «отношение подобия».

2.6.2. Покрытия и отношения сходства

Пусть U — нечеткое множество с универсумом M .

Определение 1. Семейство $\Sigma = \{P_i\}_{i \in N}$ нечетких множеств с общим универсумом M называется **покрытием** U тогда и только тогда, когда

$$U = \bigcup_{i \in N} P_i.$$

Далее будем предполагать, что M и N — конечные множества.

Определение 1 представляет собой естественное обобщение условия (1) п.2.6.1. В соответствии с п.2.6.1 множество N может рассматриваться как множество свойств. Тогда можно сказать, что $P_i(x)$ есть степень уверенности в том, что истина x наделена свойством i . В этом контексте P_i выступает как нечеткое подмножество истин, обладающих свойством i .

Следующее определение представляет собой естественное обобщение определения (1).

Определение 2. Нечеткое бинарное отношение, определенное условием

$$R_{\Sigma}(x, y) = \bigvee_{i \in N} \{P_i(x) \wedge P_i(y)\}, \quad (1)$$

называется *нечетким отношением, ассоциированным с семейством Σ* .

Лемма 1. Любое отношение R_{Σ} обладает следующими свойствами:

1) $R_{\Sigma}(x, y) = R_{\Sigma}(y, x)$ для всех $x, y \in M$; (2)

2) $R_{\Sigma}(x, y) \leq R_{\Sigma}(x, x) \vee R_{\Sigma}(y, y)$ для всех $x, y \in M$; (3)

3) $R_{\Sigma}(x, x) = U(x)$ для всех $x \in M$. (4)

Доказательство. Равенства (2) и (4) очевидны. Так как всегда $P_i(x) \leq U(x)$ и $P_i(y) \leq U(y)$, то отсюда следует

$$P_i(x) \wedge P_i(y) \leq U(x) \wedge U(y) = R_{\Sigma}(x, x) \wedge R_{\Sigma}(y, y)$$

для всех $i \in N$. Поэтому

$$R(x, y) = \bigvee_{i \in N} \{P_i(x) \vee P_i(y)\} \leq R_{\Sigma}(y, y).$$

В силу свойства (2) нечеткое отношение R_{Σ} симметрично. Заметим, что (3) выполняется для рефлексивных отношений. Это условие может рассматриваться как определение слабой рефлексивности. Рассмотрим нечеткие отношения, удовлетворяющие свойствам (2)—(4), как аналоги четких отношений сходства.

Определение 3. Нечеткое отношение называется *отношением сходства на нечетком множестве U* в том и только том случае, если выполняются свойства (2) — (4).

Из леммы 1 следует, что любое нечеткое бинарное отношение, ассоциированное с покрытием, есть отношение сходства. Следующая теорема показывает, что справедливо также и обратное утверждение.

Теорема 1. Пусть R — отношение сходства на нечетком множестве U . Существует покрытие Σ такое, что $R = R_{\Sigma}$.

Доказательство. Нечеткое множество K называют предклассом отношения R в том и только том случае, если $K(x) \wedge K(y) \leq R(x, y)$ при любых $x, y \in M$. Множество всех предклассов R представляет собой индуктивное частично упорядоченное множество. Максимальные элементы этого частично упорядоченного множества называются классами отношения R . Обозначим через N множество всех классов. Определим семейство нечетких множеств условием

$$K_{a, b}(x) = \begin{cases} R(a, b), & \text{если } x=a \text{ или } x=b, \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

для всех $a, b \in M$. Тогда $K_{a, b}$ в силу (2) и (3) есть предкласс отношения R при любых $a, b \in M$. Если $P_i (i \in N)$ — некоторый

класс отношения R , содержащий $K_{a,b}$, то $P_i(a) \wedge P_i(b) = R(a, b)$.
Поэтому

$$\bigvee_{i \in N} \{P_i(x) \wedge P_i(y)\} = R(x, y)$$

при всех $x, y \in M$, а поскольку R есть отношение на U , т. е. $\Sigma = \{P_i\}_{i \in N}$ — покрытие U такое, что $R = R_\Sigma$, то отсюда следует

$$\bigvee_{i \in N} P_i(x) = U(x).$$

Таким образом, для каждого покрытия Σ нечеткого множества U существует отношение сходства R_Σ на U , ассоциированное с Σ по определению (1), и, обратно, для каждого отношения сходства R на U существует покрытие Σ универсума U , такое, что $R = R_\Sigma$. Вполне возможно, что для различных покрытий Σ_1 и Σ_2 окажется $R_{\Sigma_1} = R_{\Sigma_2}$.

Рассмотрим следующий пример.

Пример 1. Пусть $M = \{x_1, x_2, x_3\}$ и $U = M$.

Рассмотрим два следующих покрытия U :

$$\Sigma_1 = \begin{matrix} & P_1 & P_2 & P_3 \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} \alpha & \alpha & \alpha \\ \alpha & 1 & \gamma \\ \beta & \gamma & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \text{ и } \Sigma_2 = \begin{matrix} & P_1 & P_2 & P_3 \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \beta \\ \alpha & 1 & \alpha \\ \beta & \gamma & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

где $\alpha < \beta < \gamma$. Легко проверить, что

$$R_{\Sigma_1} = R_{\Sigma_2} = \begin{matrix} & x_1 & x_2 & x_3 \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \beta \\ \alpha & 1 & \gamma \\ \beta & \gamma & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Так как $R = R_{\Sigma_1} = R_{\Sigma_2}$ есть отношение сходства, поэтому есть возможность подсчитать все его классы. Оказывается, что они образуют покрытие

$$\Sigma_3 = \begin{matrix} & P_1 & P_2 & P_3 & P_4 \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha & \beta \\ \alpha & 1 & \gamma & \alpha \\ \beta & \gamma & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Следовательно, имеются, по крайней мере, три различных покрытия Σ_1 , Σ_2 и Σ_3 , таких, что $R_{\Sigma_1} = R_{\Sigma_2} = R_{\Sigma_3}$.

Если R — отношение сходства на U , а Σ — покрытие, такое, что $R = R_\Sigma$, то, очевидно, что каждый элемент Σ есть предкласс отношения R . Поэтому классы R образуют покрытие — максимальное среди покрытий, удовлетворяющих условию $R = R_\Sigma$. Обозначим его Σ_R . Тогда имеем $R_{\Sigma_R} = R$, хотя в общем случае $\Sigma_{R_\Sigma} \neq \Sigma$.

Пример 2. Для покрытий из предыдущего примера имеем $\Sigma_{R_{\Sigma_1}} = \Sigma_{R_{\Sigma_2}} = \Sigma_3$, а также $\Sigma_{R_{\Sigma_3}} = \Sigma_3$. Очевидно, что Σ_3 содержит как Σ_1 так и Σ_2 .

Любое покрытие $\Sigma = \{P_i\}_{i \in N}$ можно интерпретировать как нечеткое отображение. Именно, рассмотрим нечеткое отображение $F_\Sigma : M \rightarrow N$, определенное с использованием функции принадлежности $F(x, i) = P_i(x)$. Это нечеткое отображение есть соответствие между множеством истин M и множеством свойств N . В классическом случае отношение сходства R_F на M , опирающееся на соответствие F , представляет собой ядро F , т. е. $R_F = F^{-1} \circ F$. Последнюю формулу можно обобщить на нечеткий случай с помощью (\wedge, \vee) -композиционного правила, которое дает

$$\begin{aligned} R_{F_\Sigma}(x, y) &= (F_\Sigma^{-1} \circ F_\Sigma)(x, y) = \bigvee_i \{F_\Sigma(x, i) \wedge F_\Sigma(y, i)\} = \\ &= \bigvee_{i \in N} \{P_i(x) \wedge P_i(y)\} = R_\Sigma(x, y), \end{aligned}$$

т. е. тот же результат, что и (1.1).

С другой стороны, для данного нечеткого отображения $F : M \rightarrow N$ можно рассмотреть покрытие $\Sigma_F = \{F(x, i)\}_{i \in N}$ нечеткого множества $U(x) = \bigvee_{i \in N} F(x, i)$. Таким образом, покрытия и нечеткие отображения дают эквивалентное описание структур схожести.

2.6.3. Отношения подобия, разбиения и фактор-множества

Отношения подобия — важный частный случай отношений нечеткого сходства.

Определение 1. Нечеткое бинарное отношение S на M называется отношением подобия на U тогда и только тогда, когда S есть симметричное и транзитивное отношение и $S(x, x) = U$ при всех $x \in M$.

Напомним, что нечеткое отношение S транзитивно в том и только том случае, если $S(x, y) \wedge S(y, z) \leq S(x, z)$ для всех $x, y, z \in M$. Так как отношение подобия S — симметричное и транзитивное отношение, то $S(x, y) = S(x, y) \wedge S(y, x) \leq S(x, x)$. Аналогично получаем $S(x, y) \leq S(y, y)$, откуда следует, что S обладает свойством слабой рефлексивности (3) п.2.6.2. Таким образом, отношения подобия составляют частный случай отношений сходства.

Пусть Σ — покрытие U . Согласно разд. 1 нечеткое бинарное отношение R_Σ , ассоциированное с Σ , есть отношение сходства. Будет

ли оно отношением подобия? Следующая теорема дает ответ на этот вопрос.

Теорема 1. Пусть $\Sigma = \{P_i\}_{i \in N}$ — покрытие U . Нечеткое бинарное отношение R_Σ есть отношение подобия в том и только том случае, когда для каждой пары $i, j \in N$ и каждой пары $x, y \in M$ найдется число $k \in N$, такое, что

$$h_{ij} \wedge P_i(x) \wedge P_j(y) \leq P_k(x) \wedge P_k(y), \quad (1)$$

где $h_{ij} = \bigvee_{x \in M} \{P_i(x) \wedge P_j(x)\}$ — высота $P_i \cap P_j$.

Доказательство. Пусть покрытие Σ удовлетворяет условию (1). Необходимо доказать только транзитивность отношения. Согласно (1) имеем

$$\begin{aligned} R_\Sigma(x, y) \wedge R_\Sigma(y, z) &= [\bigvee_{i \in N} \{P_i(x) \wedge P_i(y)\}] \wedge [\bigvee_{i \in N} \{P_i(y) \wedge P_i(z)\}] = \\ &= \bigvee_{i, j \in N} \{P_i(x) \wedge P_i(y) \wedge P_j(y) \wedge P_j(z)\} \leq \bigvee_{i, j \in N} \{h_{ij} \wedge P_i(x) \wedge P_j(z)\} \leq \\ &\leq \bigvee_{k \in N} \{P_k(x) \wedge P_k(z)\} = R_\Sigma(x, z). \end{aligned}$$

Следовательно, R_Σ — транзитивное отношение.

Теперь пусть R_Σ — отношение подобия, ассоциированное с данным покрытием Σ . Поскольку R_Σ — транзитивное отношение, то для любого $t \in M$ имеем

$$R_\Sigma(x, t) \wedge R_\Sigma(t, y) \leq R_\Sigma(x, y),$$

откуда, как и ранее, следует

$$\bigvee_{i, j \in N} \{P_i(x) \wedge P_i(t) \wedge P_j(t) \wedge P_j(y)\} \leq \bigvee_k \{P_k(x) \wedge P_k(y)\}.$$

Следовательно, для данных пар $i, j \in N$ и $x, y \in M$ существует число $k \in N$, такое, что для любого $t \in M$

$$P_i(x) \wedge P_i(t) \wedge P_j(t) \wedge P_j(y) \leq P_k(x) \wedge P_k(y),$$

откуда следует

$$\begin{aligned} h_{ij} \wedge P_i(x) \wedge P_j(y) &= \bigvee_{t \in M} \{P_i(x) \wedge P_i(t) \wedge P_j(t) \wedge P_j(y)\} \leq \\ &\leq P_k(x) \wedge P_k(y), \end{aligned}$$

что и требовалось доказать.

Существует и другое необходимое и достаточное условие на Σ для того, чтобы R было отношением подобия. Оно основывается на понятии множества α -уровня. Напомним, что множество α -уровня нечеткого множества A определяется как четкое множество $A^\alpha = \{x \in M \mid A(x) \geq \alpha\}$, $\alpha \in [0, 1]$. Пусть $\Sigma = \{P_i\}_{i \in N}$ — покрытие

нечеткого множества U . Тогда очевидно, что $\Sigma^\alpha = \{P_i\}_{i \in N}$ — четкое покрытие U^α для любых $\alpha \in [0, 1]$.

Теорема 2. Отношение сходства R_Σ , ассоциированное с Σ , есть отношение подобия на U в том и только том случае, если для любого значения $\alpha \in [0, 1]$ для каждой пары $i, j \in N$ и каждой пары $x, y \in M$, таких, что $x \in P_i^\alpha$, $y \in P_j^\alpha$ и $P_i^\alpha \cap P_j^\alpha \neq \emptyset$ найдется число $k \in N$, такое, что $x, y \in P_k^\alpha$.

Доказательство. Пусть покрытие S удовлетворяет условиям теоремы и $\alpha \in [0, 1]$ — любое действительное число. Имеем

$xR_\Sigma y$ тогда и только тогда, когда $R_\Sigma(x, y) \geq \alpha$,

тогда и только тогда, когда существует такое i , что

$P_i(x) \wedge P_i(y) \geq \alpha$.

тогда и только тогда, когда существует такое i , что $P_i(x) \geq \alpha$ и

$P_i(y) \geq \alpha$,

тогда и только тогда, когда существует такое i , что $x, y \in P_i^\alpha$.

Теперь легко проверить транзитивность отношения R_Σ^α на множестве U^α . Пусть $x, y, z \in M$ и $\alpha = R_\Sigma(x, y) \wedge R_\Sigma(y, z)$. Тогда $xR_\Sigma yR_\Sigma z$, откуда в силу транзитивности отношения R_Σ^α следует $xR_\Sigma^\alpha z$. Следовательно,

$$R_\Sigma(x, z) \geq \alpha = R_\Sigma(x, y) \wedge R_\Sigma(y, z),$$

т. е. R — транзитивное отношение на U .

Обратно, пусть R_Σ — отношение подобия на U и $\alpha \in [0, 1]$. Пусть также $P_i^\alpha \cap P_j^\alpha \neq \emptyset$ и $x \in P_i^\alpha$, $y \in P_j^\alpha$. Поскольку $P_i^\alpha \cap P_j^\alpha \neq \emptyset$, то существует $z \in P_i^\alpha \cap P_j^\alpha$. Имеем: $xR_\Sigma^\alpha z$, поскольку $x, z \in P_i^\alpha$, и $zR_\Sigma^\alpha y$, поскольку $z, y \in P_j^\alpha$. Так как R_Σ — отношение подобия, то R_Σ^α — четкое транзитивное отношение. Следовательно, $xR_\Sigma^\alpha y$, откуда $x, y \in P_k^\alpha$ для некоторого k .

Теоремы 1 и 2 дают внутреннее описание тех покрытий, которые согласно (1) п.2.6.2 порождают отношения подобия.

Как и в общем случае, вполне возможно, что различные покрытия порождают одно и то же отношение подобия. Пусть S есть отношение подобия на U . Как указывалось в п. 2.6.2, существует единственное максимальное покрытие Σ , такое, что $S = R_\Sigma$. Элементы этого покрытия представляют собой классы отношения S . Классы отношений подобия допускают очень простое описание. Они оказываются классическими *классами подобия*.

Теорема 3. Любой класс отношения подобия S есть класс подобия $[a]$ для некоторого $a \in M$.

Доказательство. Напомним, что под классом подобия $[a]$ понимается нечеткое множество с функцией принадлежности $[a](x) = S(a, x)$. В силу симметричности и транзитивности S имеем

$$[a](x) \wedge [a](y) = S(x, a) \wedge S(a, y) \leq S(x, y).$$

Следовательно, каждый класс $[a]$ — это предкласс в S . Пусть P класс из S . Обозначим через a истину, такую, что $P(x) \leq P(a)$ для всех $x \in M$. Поскольку P — класс, то имеем

$$P(x) = P(x) \wedge P(a) \leq S(x, a) = [a](x),$$

а так как $[a]$ — предкласс S , то это возможно, только если $P = [a]$.

В общем случае обратная теорема не справедлива. Рассмотрим, например, отношение подобия S , определенное на множестве $U = \{(x_1, 1), (x_2, 1), (x_3, \alpha)\}$, где $0 < \alpha < 1$, матрицей

$$S = \begin{matrix} & \begin{matrix} x_1 & x_2 & x_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & \alpha \\ 1 & 1 & \alpha \\ \alpha & \alpha & \alpha \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Имеются два класса подобия, а именно, $[x_1] = [x_2] = \{(x_1, 1), (x_2, 1), (x_3, \alpha)\}$ и $[x_3] = \{(x_1, \alpha), (x_2, \alpha), (x_3, \alpha)\}$, но только один класс S , а именно, $P = \{(x_1, 1), (x_2, 1), (x_3, \alpha)\}$. Заметим, что $[x_3] \subset P$.

Существует важный частный случай, в котором обратное утверждение истинно.

Теорема 4. Если S — рефлексивное отношение подобия, то каждый класс подобия $[a]$ есть класс отношения S .

Доказательство. Предположим, что существует класс P отношения S , который содержит предкласс $[a]$, т. е. $P(x) \geq [a](x)$ для всех $x \in M$. Тогда $P(a) \geq a = 1$, откуда следует $P(a) = 1$. Поскольку P — класс, то имеем

$$P(x) = P(x) \wedge P(a) \leq S(a, x) = [a](x)$$

и, значит, $P = [a]$.

Следствие 1. Классы рефлексивных отношений подобия в точности совпадают со своими классами подобия.

В общем случае любой класс отношения подобия S представляет собой максимальный класс подобия, т. е. класс подобия, который не содержится ни в каком другом. Поскольку классы подобия становятся известны, как только известно S , легко определяются и классы S .

Покрывтия, истины которых составляют классы подобия, играют важную роль в теории истин и информации.

Определение 2. Покрытие $\Pi = \{P_i\}_{i \in N}$ называется *разбиением* тогда и только тогда, когда существует отношение подобия S , такое, что Π есть множество всех классов подобия S .

Так определенные нечеткие разбиения допускают независимое описание во внутренних терминах. А именно, для любого данного покрытия $\Pi = \{P_i\}_{i \in N}$ построим семейство четких множеств $\{\Pi_i\}_{i \in N}$:

$$\Pi_i = \{x | P_i(x) = h(P_i) = U(x)\}.$$

Если $\{\Pi_i\}_{i \in N}$ есть четкое разбиение M , то для каждой истины $a \in M$ существует единственное значение i , такое, что $a \in \Pi_i$ и для каждого $i \in N$ существует истина a , такая что $a \in \Pi_i$. Положим, по определению, $[a] = P_i$ тогда и только тогда, когда $a \in \Pi_i$. Используем также обозначение $\Pi_{[a]}$ для Π_i , если $a \in \Pi_i$.

Теорема 5. Покрытие Π есть разбиение тогда и только тогда, когда

$$\begin{aligned} 1) \quad & \{ \Pi_i \}_{i \in N} \text{ — четкое покрытие } M, \text{ и} \\ 2) \quad & h(\{a\} \cap \{b\}) = [a](b) \wedge [b](a). \end{aligned} \quad (2)$$

Доказательство. 1. Пусть Π — нечеткое разбиение, т. е. имеется отношение подобия S , такое, что Π есть множество всех классов подобия $[a]$ отношения S . Имеем

$$\begin{aligned} \Pi_{[a]} &= \{x | [a](x) = h([a]) = U(x)\} = \\ &= \{x | S(a, x) = \bigvee_{u \in M} S(a, u) = S(x, x)\} = \\ &= \{x | S(x, x) = S(a, a) = S(x, x)\}. \end{aligned} \quad (3)$$

$\Pi_{[a]} \neq \emptyset$, так как $a \in \Pi_{[a]}$. Предположим, что $x \in \Pi_{[a]} \cap \Pi_{[b]}$. Тогда согласно (3)

$$S(a, x) = S(a, a) = S(x, x) = S(b, b) = S(b, x). \quad (4)$$

Отсюда с учетом симметричности и транзитивности отношения S имеем

$$\begin{aligned} [a](t) &= S(a, t) \geq S(a, b) \wedge S(b, t) \geq S(a, x) \wedge S(x, b) \wedge S(b, t) = \\ &= S(b, b) \wedge S(b, t) = S(b, t) = [b](t). \end{aligned}$$

Аналогичным образом получаем $[b](t) \geq [a](t)$, откуда следует $[a] = [b]$. Таким образом, $\{\Pi_{[a]}\}_{[a] \in N}$ есть четкое разбиение M .

Далее, вследствие транзитивности и симметричности S имеем

$$\begin{aligned} h(\{a\} \cap \{b\}) &= \bigvee_{x \in M} \{[a](x) \wedge [b](x)\} = \bigvee_{x \in M} \{S(a, x) \wedge S(x, b)\} = \\ &= S(a, b) = S(a, b) \wedge S(b, a) = [a](b) \wedge [b](a). \end{aligned}$$

2. Пусть Π — покрытие, удовлетворяющее условиям теоремы. Определим $S(x, y) = [x](y)$. Тогда согласно (2)

$$[x](t) \wedge [y](t) \leq [x](y) \wedge [y](x), \text{ для каждого } t. \quad (5)$$

Подставляя в (3.5) $t=x$ и $t=y$, получаем $[y](x) \leq [x](y)$ и $[x](y) \leq [y](x)$ соответственно. Отсюда $[x](y) = [y](x)$, т. е. S — симметричное отношение. В силу (5) и симметричности S получаем также

$$S(x, y) \wedge S(y, z) = [x](y) \wedge [z](y) \leq [x](z) \wedge [z](x) = S(x, z),$$

т. е. S — транзитивное отношение. По определению $\Pi_{[x]}$ имеем $S(x, x) = x = U(x)$. Поэтому S есть отношение подобия на U , что и завершает доказательство.

Заметим, что разбиения, определенные с помощью классов подобия, не являются классами. Следующий пример проясняет различие между этими случаями.

Пример 1. Пусть опять S — отношение подобия, определенное матрицей

$$S = \begin{matrix} & \begin{matrix} x_1 & x_2 & x_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & \alpha \\ 1 & 1 & \alpha \\ \alpha & \alpha & \alpha \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad 0 < \alpha < 1.$$

Ищется только один класс $P = \{(x_1, 1), (x_2, 1), (x_3, \alpha)\}$ отношения S . В то же время разбиения Π , определяемое отношением S , содержит два элемента $P = [x_1] = [x_2]$ и $[x_3] = \{(x_1, \alpha), (x_2, \alpha), (x_3, \alpha)\}$.

В классической теории множеств очень важны понятия фактор-множества и канонического отображения. Предыдущие рассуждения позволяют дать соответствующее обобщение этих понятий для теории нечетких множеств.

Определение 3. Пусть S — отношение подобия на множестве U с универсумом M и пусть N — множество всех классов подобия множества S . Нечеткое множество H с универсумом N , определенное условием

$$H([a]) = \bigvee_{x \in M} [a](x)$$

называется нечетким *фактор-множеством* U относительно S и обозначается $H = U/S$. Нечеткое отображение $F : M \rightarrow N$, определенное условием

$$F(x, [a]) = [a](x),$$

называется *каноническим отображением*.

Легко проверить, что F — хорошо определенное отображение. Следующая теорема устанавливает некоторые общие свойства введенных понятий.

Теорема 6.

- 1) $F(U) = H$, т. е. H есть образ U относительно F ;
- 2) $F^{-1}(H) = U$, т. е. U есть прообраз H относительно F ;
- 3) $F^{-1}([a]) = [a]$, т. е. прообраз единичного нечеткого элемента $[a]$ в H есть нечеткое подмножество $[a]$ в M ;
- 4) $S = F^{-1} \circ F$, т. е. S есть ядро F .

Доказательство. 1. $(F(U))([a]) = \bigvee_{x \in M} \{F(x, [a]) \wedge U(x)\} =$
 $= \bigvee_{x \in M} \{S(x, a) \wedge S(x, x) = \bigvee_{x \in M} S(x, a) = \bigvee_{x \in M} [a](x) = H([a]).$
 2. $(F^{-1}(H))(x) = \bigvee_{[a] \in N} \{F^{-1}(x, [a]) \wedge H([a])\} =$
 $= \bigvee_{[a] \in N} \{[a](x) \wedge \bigvee_{u \in M} [a](u)\} = \bigvee_{[a] \in N} S(a, x) = S(x, x) = U(x).$

3. По определению, нечеткий единичный элемент $[a]$ в H — это нечеткое множество $[a]$ с функцией принадлежности

$$[a]([x]) = \begin{cases} H([a]), & \text{если } [x] = [a], \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Имеем

$$(F^{-1}([a]))(x) = \bigvee_{[t] \in N} \{F(x, [t]) \wedge [a]([t])\} = F(x, [a]) \wedge H([a]) =$$

$$= S(a, x) \wedge \bigvee_{u \in M} S(a, u) = S(a, x) = [a](x).$$

4. $(F^{-1} \circ F)(x, y) = \bigvee_{[t] \in N} \{F(x, [t]) \wedge F(y, [t])\} =$
 $= \bigvee_{[t] \in N} \{S(x, t) \wedge S(t, y)\} = S(x, y).$

Для любого данного разбиения $\Pi = \{P_i\}_{i \in N}$ множества U можно рассмотреть нечеткое множество H с функцией принадлежности $H(i) = h(P_i)$. Тогда по теореме 5 п.2.6.2 H есть фактормножество множества U относительно соответствующих отношений подобия S . Таким образом, представленная теория нечетких разбиений представляет собой полный аналог четкой теории.

2.7. Кластеризация

2.7.1. Задачи кластеризации

Кластеризацией называется следующая задача. Есть некоторое количество N объектов, т.е. образующий набор векторов признаков. Построить алгоритм (*кластеризатор*), разбивающий пространство признаков X на конечное число q областей, называемых *кластерами*, так чтобы вектора, из одного кластера были больше похожи друг на друга, чем вектора из разных кластеров. Понятие похожести следует как-то определить, например, для метрического пространства признаков, через расстояние в нем. Таким образом, кластеризатор можно считать, как и классификатор, отображением $f : X \rightarrow \{1, \dots, q\}$, точнее, в отличие от классификатора, классом таких отображений, переводимых друг в друга перестановками множества $\{1, \dots, q\}$.

Довольно часто кластеризация применяется при определении понятия классов для последующей классификации. Например, классификация в ботанике и зоологии начиналась с того, что имелось огромное количество описаний живых существ с разным количеством, цветом и формой листьев, лепестков, ног и хвостов, и нужно было разбить их на кучки похожих и предъявить алгоритм отнесения каждого нового существа к какой-то из кучек.

Кластеризация похожа на классификацию, в которой в обучающем наборе отсутствуют решения — **номера классов**. Чисто теоретически, можно назначить эти решения всевозможными способами (очень многими: N^q), обучить N^q классификаторов, выбрать один из самых лучших (которых не менее $q!$) и использовать в качестве кластеризатора. На практике, конечно, обучить столько классификаторов невозможно, но идея использовать в качестве кластеризатора подходящий классификатор вполне применима.

Задачу кластеризации можно разными способами видоизменять. Например, можно, как в задаче многоклассовой классификации, строить кластеризатор $f : X \rightarrow \mathbf{R}^q$, для каждой точки x пространства признаков вычисляющий не только решение $\arg \max_j f_j(x)$ (номер кластера), но и уверенность в нем, равную $\max_j f_j(x)$. Такой кластеризатор заодно может решать задачу обнаружения *выбросов*.

Обучать такой кластеризатор можно следующим образом: потребовать, чтобы его решения удовлетворяли обычным вероятностным нормировкам $f_j(x) \geq 0$ и $\sum_j f_j(x) = 1$, и решать для обучающего набора X максимизационную задачу

$$\sum_{i=1}^N \max_j f_j(x_i) \rightarrow \max_{j \in \mathcal{F}}. \quad (1)$$

Для решения этой задачи возьмем какой-нибудь метод обучения классификаторов, максимизирующий суммарную оценку уверенностей распознавателя в ответе на обучающем наборе, и какую-нибудь, хоть бы и случайную, кластеризацию. Обучим классификатор классифицировать в соответствии с этим назначением кластеров. Затем каждый вектор признаков из обучающего набора классифицируем с помощью обученного классификатора. Хотя классификатор и обучался на этом же самом обучающем наборе, для некоторых обучающих векторов его ответ может отличаться от того, чему его учили. Для полученного разбиения на классы снова обучим классификатор, затем в соответствии с результатами обучения снова подправим классификацию и т.д. При обучении сумма уверенностей (1) монотонно не убывает. Обучение останавливается, когда эта сумма перестает возрастать. При таком обучении классификатор учится классифицировать не так, как задано в каком-то обучающем наборе, а так, как ему удобно максимизировать уверенность в своей работе. Результат обучения кластеризатора сильно зависит от начального разбиения на кластеры.

Подробно эмпирические методы выбора начального разбиения или, что эквивалентно, начального состояния классификаторов, здесь не обсуждаются. Например, **можно начинать обучение так**: выбрать из обучающего набора несколько случайных векторов, по одному на кластер, объявить их принадлежащими разным классам и обучить классификатор только на них, после чего продолжать обучение уже на всем обучающем наборе. Во время обучения тоже могут возникнуть неоднозначности, разрешаемые довольно произвольно. К какому кластеру отнести вектор, для которого некоторые из уверенностей в принадлежности к разным кластерам совпадают (варианты: к случайному, к кластеру с меньшим номером, к кластеру с меньшим количеством векторов, что в свою очередь неоднозначно...)? Что делать, если какой-то кластер стал пустым (варианты: не обращать внимания, продолжать кластеризацию с меньшим числом кластеров, создать этот кластер заново, поместив в него вектор с наименьшей уверенностью,...)?

В качестве примера рассмотрим байесовский q -классовый классификатор на d -мерном евклидовом пространстве признаков \mathcal{X} , для следующей порождающей модели: вероятности $p(y)$ всех классов равны $1/q$, а плотности условных вероятностей $p(x/y)$ являются гауссовыми с единичной матрицей ковариации

$$p(x|j) = (2\pi)^{-\frac{d}{2}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu_j)^2}, \quad 1 \leq j \leq q.$$

Обучение модели состоит в подборе q векторов μ_1, \dots, μ_q в пространстве \mathcal{X} . При обучении методом наибольшего правдоподобия на обучающем наборе $X = (x_1, \dots, x_N)$ с каким-то распределением y_1, \dots, y_N обучающих векторов по кластерам, максимизируется произведение вероятностей

$$\prod_{i=1}^N p(x_i|y_i),$$

т.е. минимизируется сумма

$$\sum_{i=1}^N -\ln(p(x_i|y_i)),$$

что эквивалентно минимизации суммы квадратов

$$\sum_{i=1}^N (x_i - \mu_{y_i})^2.$$

Квадратичная минимизация сводится к очень простой системе линейных уравнений, которая элементарно решается. Ответ получается такой:

$$\mu_j = \frac{\sum_{i|y_i=j} x_i}{\#\{i|y_i=j\}},$$

т.е. каждый вектор параметров μ_j сдвигается в центр тяжести (среднее арифметическое) обучающих векторов j -го кластера. Затем каждый обучающий вектор x_i переводится в тот кластер j , для которого оценка байесовского распознавателя $p(x_i|j)$ максимальна, т.е. расстояние $\|x_i - \mu_j\|$ минимально. Снова обучается классификатор, снова пересчитываются кластеры, и т.д., пока правдоподобие не перестанет увеличиваться, т.е. распределение обучающих векторов по кластерам не перестанет изменяться.

Этот пример обучения кластеризатора по совместительству является самым распространенным примером описываемого в п. 2.7.2 векторного квантования. Он обычно называется "*k-means*" (k средних), где k — обозначение числа кластеров (то, что выше обозначалось буквой q), а "*means*" — память о вычислении средних арифметических. Как правило, метод *k-means* сходится быстро. Напоминаем, что получающаяся кластеризация зависит от начальной кластеризации и не обязательно оптимальна

Метод *k-means* легко обобщить, допустив в качестве плотностей условных вероятности гауссианы с любыми матрицами ковариации, в том числе и с разными матрицами для разных кластеров.

Количество кластеров k может быть фиксировано заранее, а может, аналогично обучению распознавателей с регуляризацией, подбираться минимизацией суммы какой-либо зависящей от k штрафа "за сложность" и убывающей функции от уверенности (1). Стандартных рецептов, как именно штрафовать и как минимизировать по дискретному параметру k , нет.

2.7.2. Векторное квантование и понижение размерности

Широко распространена следующая модификация задачи кластеризации. Одновременно с поиском хорошей кластеризующей функции $f: \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{Y}$ будем искать "функцию центров" $c: \mathcal{Y} \rightarrow \mathcal{X}$, сопоставляющую каждому кластеру y его типичного представителя $c(y)$ называемого **центром кластера**. Желательно, чтобы центр кластера был достаточно близок ко всем объектам этого кластера.

В такой постановке задача кластеризации обычно называется **векторным квантованием (vector quantization)**. **Векторное квантование чаще всего применяется при необратимом сжатии информации** для хранения или передачи по линиям связи. **Информация любой природы представляется, возможно искусственно, в виде последовательности векторов признаков лежащих в пространстве признаков \mathcal{X}** . При кодировании (сжатии) каждый вектор кодируется номером кластера, которому он принадлежит. При декодировании (раздутии) каждый номер кластера заменяется на его центр.

Задачу векторного квантования можно формализовав в том же стиле, что и задачу распознавания. Имеется:

пространство (векторов) признаков \mathcal{X} , точками которого кодируются квантуемые объекты, например d -мерное евклидово пространство \mathbf{R}^d или любое метрическое пространство;

пространство кластеров \mathcal{Y} , обычно конечное, хотя возможны и обобщения;

пространство \mathcal{F} кластеризующих функций $f: \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{Y}$, например, любых функций из \mathcal{X} в \mathcal{Y} ;

пространство \mathcal{C} функций центров $c: \mathcal{Y} \rightarrow \mathcal{X}$, как правило, пространство всех функций из \mathcal{Y} в \mathcal{X} ;

пространство \mathcal{P} распределений (вероятностных мер) на \mathcal{X} , например, в случае евклидова пространства \mathcal{X} , — абсолютно непрерывных по мере Лебега, гауссовых смесей и т. п. ;

функция штрафа $E: \mathcal{X} \times \mathcal{X} \rightarrow \mathbf{R}$, как правило неотрицательная и равная 0 при совпадении параметров, например, в случае евклидова пространства \mathcal{X} удобно взять $E(x, s) = \|x - s\|^2$,

набор обучающих данных $\mathbf{X} = (x_1, \dots, x_N)$, где $x_i \in \mathcal{X}$ считаются значениями независимых случайных величин с одним и тем же, но совершенно неизвестным распределением $\pi \in \mathcal{P}$.

Необходимо по $\mathcal{X}, \mathcal{Y}, \mathcal{F}, \mathcal{C}, \mathcal{P}$ и \mathbf{X} построить кластеризатор $f \in \mathcal{F}$ и функцию центров $c \in \mathcal{C}$, минимизирующие ожидание штрафа $E_\pi(f)$

$$E_\pi(f, c) = \int_{x \in \mathcal{X}} E(c(f(x)), x) d\pi(x) \rightarrow \min_{f \in \mathcal{F}, c \in \mathcal{C}}, \quad (2)$$

где $\pi \in \mathcal{P}$. Как и в случае распознавания, можно сложную задачу минимизации интеграла подменить задачей минимизации приближающей его суммы

$$E_\pi(f, c) \approx E(f, c; \mathbf{X}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E(c(f(x_i)), x_i) \rightarrow \min_{f \in \mathcal{F}, c \in \mathcal{C}}, \quad (3)$$

но тогда, чтобы обеспечить малость ожидания штрафа (2) можем понадобится регуляризация. Обратим внимание на то, что отображения f и c входят в формулы (2) и (3) только в виде композиции $c \circ f$.

Дальше, как и в случае распознавания можно забыть про вероятностную модель и решать задачу, подобную (3) а качество полученного квантования оценивать экспериментально, вычисляя штраф $E(f, c; \mathbf{X}')$ на независимом *тестовом наборе* \mathbf{X}' . Но можно продолжать изучать вероятностную модель и перенести на случай кластеризации и векторного квантования соображения об апостериорной вероятности или байесовском обучении.

В таком виде задача обучения осмысленна и полезна не только при конечном пространстве \mathcal{Y} , но при любом. Например если \mathcal{X} и \mathcal{Y} — евклидовы пространства $\dim(\mathcal{Y}) < \dim(\mathcal{X})$, а класс \mathcal{C} состоит из гладких или линейных функций, то обучение квантованию равносильно поиску $\dim(\mathcal{Y})$ -мерного подмножества (гладкой поверхности или плоскости, соответственно), хорошо аппроксимирующего встречающиеся вектора признаков. Но называется эта задача уже не квантованием, а *понижением размерности (dimension reduction)*

Квантование и понижение размерности можно рассматривать как частный случай задачи регрессии: пространство ответов \mathcal{Y} совпадает с пространством признаков \mathcal{X} , и нужно приблизить тождественное отображение с помощью отображений вида $c \circ f$, множество значений которых либо конечно (квантование) либо маломерно (понижение размерности)

Такие методы классической статистики как *факторный анализ* (FA, factor analysis) и *анализ главных компонент* (PCA principal component analysis) также являются методами понижения размерности, работающими в предположении гауссовости распределений $p(x, y)$.

2.8. Нечеткие кластеры

В разделе рассматриваются вопросы применения понятий теории нечетких множеств к неявной классификации. Они включают аксиоматический вывод понятий кластера и разбиения на кластеры, формальные условия существования кластеров и связи между такими формальными подходами и формулировками многозначной логики, особенно логики Лукасевича алеф-1. Рассматриваются также теоретические основы для оценки «кластеризуемости» выборки данных и для разработки методов иерархического разбиения на нечеткие кластеры.

2.8.1. Введение в нечеткий кластер-анализ

Методы математической классификации привлекали большое внимание исследователей и привели к созданию одного из основных классов автоматизируемых процедур, предназначенных описывать структурные характеристики выборочного множества по описаниям его компонентов.

Открытие структур, которые нелегко заметить с помощью стандартных процедур анализа данных, имеет первостепенную важность для понимания того, какие отношения регулируют поведение реальных систем. Появившаяся возможность выявить организационные схемы привела к широкому использованию классификационных процедур в прикладных и социальных науках.

Однако полезность процедур классификации ограничена двумя факторами.

Во-первых, большинство предложенных методов опирается на эвристические соображения, возникающие из конкретных приложений понятия классификации к частным задачам. Попытки расширить сферу применимости выведенных таким образом процедур часто дают неудовлетворительные результаты. Применение этих методов при решении конкретных задач приводит к различным классификациям, зависящим от использованной процедуры, и не позволяет проникнуть в сущность причин, вызывающих таксономические различия, и

подвергнуть их аналитическому исследованию. В случаях, когда такие исследования проводились, обнаруживалось, что процедуры, подогнанные под характеристики конкретного примера и механически примененные для другого случая, оказывались непригодными для решения задачи.

Во-вторых, большинство предложенных процедур пытались применять для классификации точек по принадлежности к подходящим множествам по степени подобия между точками выборочных данных. Но это, как будет подробнее рассмотрено в п. 2.8.3, недостижимая цель для большинства практических применений, и так поставленная проблема может не иметь решения. Искусные усовершенствования процедур, обычно используемые для разрешения этой проблемы, такие как деформация первоначальной меры подобия (как это делается, например, в односвязывающем методе) или ослабление классификационных требований (например, некоторые сходные точки разрешается относить к разным классам) совершенно неприемлемы вследствие плохого качества полученных результатов.

Для успешной постановки этих проблем в данном разделе будем придерживаться строгой аналитически развитой методологии, основанной на аксиоматической теории, которая объясняет и связывает различные понятия и подходы, используемые в кластерном анализе, для получения осмысленных и полезных решений проблемы классификации в качестве основы для описания как выборочных данных, так и их классификаций, предлагается использовать теорию нечетких множеств. Существенная особенность излагаемого материала состоит в систематическом введении соответствующих понятий на аксиоматической основе и идентификации отношений между полученными таким образом понятиями и основными положениями теории нечетких множеств и нечеткой логики.

В п.2.8. 2 кратко рассматривается логическое обоснование нечеткого кластер-анализа и затем обсуждаются основные неустранимые трудности, с которыми сталкиваются при решении проблемы кластеризации традиционными методами. В п.2.8.3 дается аксиоматическая разработка понятия кластера и устанавливаются условия существования кластеров в выборочных данных. В п.2.8.4 устанавливается связь между определением нечеткого кластера и формальной интерпретацией транзитивности нечеткого отношения в логике Лукасевича алеф-1. В п.2.8.5 обсуждаются различные пути обобщения, проясняющие понятие кластера и ведущие к более глубокому пониманию понятия кластерного прототипа, чем обеспечивается важная характеристика проблем иерархической классификации выборки и оценки кластеризуемости или определения

классификационного потенциала кластера. В п.2.8.6 понятие кластеризации противопоставляется понятию кластера и приводятся результаты, относящиеся к аксиоматическому определению понятия кластеризации как наиболее экономного способа представления выборки кластерами.

2.8.2. Нечеткие множества, нечеткие кластеры, нечеткая кластеризация

Нечеткая кластеризация как поход к представлению данных

Нечеткое разбиение на кластеры было введено Э.Г. Руспини как путь решения некоторых проблем представления традиционного разбиения на кластеры, позволяющий достигнуть осмысленных решений во многих классификационных проблемах, неподдающихся анализу с помощью традиционных методов.

Неформально проблему разбиения выборочного множества на классы можно сформулировать следующим образом:

«Сгруппировать точки выборочного множества в подмножества (называемые кластерами) так, чтобы подобные точки относились к одному и тому же подмножеству, а не подобные — к различным подмножествам».

В типичной задаче кластеризации предполагается, что подобие (не следует путать с нечетким отношением эквивалентности, определенным Заде) между точками определяется с помощью функции, которая назначает неотрицательные действительные значения каждой паре точек выборочного множества.

Простые примеры, когда два или больше хорошо определенных множеств соединяются «мостиками» из внутренне связанных объектов выборки, показывают, что в общем случае не существует решения этой проблемы, если только не ослабить требования и не рассматривать ее решение в другом контексте. Как отмечает далее Э.Г. Руспини, теория нечетких множеств обеспечивает желаемый перенос выборов таксономических решений из дискретного метрического пространства в непрерывное пространство, в котором понятие «похожая классификация» можно определить более содержательно

Далее, теория нечетких множеств, заменяя строгую принадлежность множеству на непрерывную степень принадлежности, позволяет более удовлетворительно представлять точки, которые лежат снаружи ядра или прототипной части каждого кластера (например, «мостики»). Гносеологические рассуждения показывают, что нечеткие множества

более пригодны в качестве инструмента представления непрерывных кластеров, чем теория вероятностей.

Степень принадлежности служит для представления сходства точки с прототипным элементом кластера, а не вероятности ошибки в классификации.

Некоторые проблемы, возникающие при анализе нечетких множеств как нечетких кластеров

Методы, предложенные Э.Г. Руспини, опирались на определение нечеткой кластеризации как разбиения множества данных на совокупность его нечетких подмножеств. *Оптимальная нечеткая кластеризация* определялась как разбиение на нечеткие подмножества, доставляющие оптимальное значение некоторому функционалу, определенному на множестве всех возможных разбиений. Этот функционал определялся так, чтобы он соответствовал интуитивному понятию «качества классификации».

При таком подходе проблема состояла в получении классификации, содержащей как хорошие, так и посредственные кластеры, на которой достигалось бы составное экстремальное значение функционала, определяющего качество классификации. Проблему можно довести до основной черты предлагаемого подхода, когда каждое нечеткое подмножество выборочных данных позволяет рассматривать как потенциальный кластер. Осознание этой проблемы определило основную методологическую установку настоящего раздела: строгое использование аксиоматической формулировки для определения кластеров как особых подмножеств исходного множества, удовлетворяющих определенным условиям. По сравнению с предыдущим случаем выявляется дополнительное преимущество: априори не требуется никаких предположений о числе кластеров.

Кластеры и кластеризация

Главное, что характерно для результатов, представленных в этом разделе, заключается в формальном различении понятий *кластер* и *кластеризация*.

Понятие кластера опирается на структуру подобия (по предположению, определенную на выборочном множестве) и не зависит ни от каких соображений относительно природы классифицируемого множества.

Понятие кластеризации, с другой стороны, связано с проблемами *представления* выборочного множества с помощью кластеров экономным образом.

Необходимость в нечетких кластерах

Решение проблемы автоматической классификации можно считать эквивалентным идентификации функции, которая отображает структуру подобия, определенную на выборочном множестве, в разбиение этого выборочного множества так, чтобы достигалась указанная неформальная цель классификации.

Рассмотрение вопроса в такой (эквивалентной) формулировке показывает, что всякий раз, когда классификация строится с использованием четких множеств, проблема оказывается неразрешимой, так как она равносильна определению изоморфизма между двумя неизоморфными структурами.

С одной стороны, имеется структура, порожденная отношением подобия, которое, в общем случае, представляет собой нетранзитивное бинарное отношение. Другими словами, из «*A подобно B*» и «*B подобно C*» не следует, что «*A подобно C*».

С другой стороны, структура, обусловленная двузначной функцией принадлежности четких множеств, определяет транзитивное отношение между парами точек следующим образом: из «*A принадлежит тому же кластеру, что и B*» и «*B принадлежит тому же кластеру, что и C*» следует «*A принадлежит тому же кластеру, что и C*».

По этой причине решение проблемы кластеризации в общепринятых терминах невозможно или выполнимо только после некоторого подходящего ослабления постановки задачи. Эта основная проблема будет строго сформулирована с позиций общепринятого подхода в следующем пункте настоящего раздела, где будет показано, что переход от соответствующего традиционного определения к нечеткой области обеспечивает основу для содержательного определения кластера.

2.8.3. Понятие кластера

Общепринятая формализация

Ниже будет дана формальная характеристика общепринятой (т. е. нечеткой) проблемы кластеризации. Несмотря на то, что эти результаты совершенно очевидны и полностью согласуются с неформальными комментариями предыдущего пункта настоящего раздела, они обеспечивают формальную основу для аксиоматического определения нечеткого кластера и оказываются полезными для лучшего понимания целесообразности такого определения.

Введем необходимые обозначения:

А. X — множество элементарных исходов.

Б. F — подмножество X , называемое *выборочным множеством*.

В. R — бинарное отношение на X , называемое отношением *подобия*.

Если $(x, y) \in R$, то будем говорить, что x *подобен* y . В остальных случаях будем говорить, что x *неподобен* y или *отличен от* y . Предполагается, что отношение R :

1) *рефлексивно*, т. е. $(x, x) \in R$, если $x \in X$,

2) *симметрично*, т. е. $(x, y) \in R \Rightarrow (y, x) \in R$.

Дополнение \bar{R} отношения R будет называться отношением *различия*.

Г. \bar{A} — дополнение подмножества A множества X .

Д. $R(x)$ — множество всех подмножеств множества X .

Е. $R(A)$ — множество

$$R(A) = \{y \in X : (x, y) \in R \text{ и } x \in A\}.$$

Аналогично,

$$R(x) = \{y \in X : (x, y) \in R\}.$$

Определение. Подмножество A множества X называется *R-кластером* (или, для краткости, *кластером*) тогда и только тогда, когда

а) $R(A) = A$,

б) $\bar{R}(A) = \bar{A}$.

Примечание. Это определение просто формализует неформальное определение кластера, конкретизируя требование, согласно которому все точки, близкие A (т. е. точки $R(A)$) должны относиться к A , в то время как все точки, отличные от A (т. е. точки $\bar{R}(A)$), не должны относиться к A . Следующие, приводимые без доказательства результаты просты и представляют формализацию сделанных комментариев относительно невозможности решений общепринятой проблемы кластеризации.

Утверждение. Пусть A — подмножество множества X . Тогда A — кластер в том и только в том случае, если

а) $R(x) = A$ для всех $x \in A$,

б) $\bar{R}(x) = \bar{A}$ для всех $x \in A$.

Следствие. Если A и B — кластеры, то они либо тождественны, либо не пересекаются.

Определение. Пусть C — семейство непустых подмножеств, множества X . Тогда C называют покрытием X тогда и только тогда, когда объединение всех элементов C совпадает с X .

Теорема существования. Пусть C — покрытие множества X . Для того чтобы каждый элемент C был кластером, необходимо и достаточно, чтобы:

а) отношение R было транзитивно,

б) $C = X/R$.

Последний результат можно перефразировать следующим образом: «Необходимое и достаточное условие существования покрытия из кластеров состоит в том, чтобы R было отношением эквивалентности».

Таким образом, общепринятая кластеризация требует, чтобы отношение подобия было транзитивным. Поскольку в большинстве практических задач это требование не выполняется, то в общем случае решение проблемы кластеризации в традиционных терминах невозможно. Кроме того, процедуры, разработанные для преодоления этого недостатка, отображают числовую меру подобия на бинарное отношение эквивалентности (например, односвязность) и деформируют природу исходной структуры, приводя к нежелательным результатам (например, к образованию цепей).

Определение нечеткого кластера

Используя в качестве основы данное здесь формальное определение четкого кластера, представим формальное определение нечеткого кластера. Допущения, принимаемые при введении понятия подобия, гарантирующие существование покрытия из нечетких кластеров, слабее, чем в случае обычного множества. Кроме того, представления нечеткими кластерами по самой своей сути намного богаче из-за возросшей способности указывать отношения между кластерами и точками.

Введем необходимые обозначения:

А. X — обычное множество, называемое множеством *элементарных исходов* или *выборочным пространством*.

Б. f — нечеткое подмножество X , называемое *выборочным множеством*.

В. r — рефлексивное, симметричное (нечеткое) отношение в X , называемое отношением *подобия*. Его дополнение $d = 1 - r$ называется отношением *различия*.

Г. $F(x)$ — множество всех нечетких подмножеств X , имеющих непустое ядро (т. е. если $f \in F(x)$, то существует некоторое $x \in X$, для которого $f(x) = 1$).

Д. $\Omega(f)$ — мощность нечеткого множества f .

Определение. Пусть g — нечеткое множество в X . Тогда g называется *нечетким r -кластером* (или, для краткости, кластером) в том и только в том случае, когда

- а) $g(x) = 1 \Rightarrow g(y) = r(x, y)$,
- б) $|g(x) - g(y)| \leq 1 - r(x, y)$.

Примечание. Условие а) последнего определения обобщает оба условия определения обычного кластера.

Условие б) — это, по существу, условие непрерывности, не имеющее прототипа в обычном случае. Оно представляет собой простейшую формализацию утверждения о том, что нечеткие классификации подобных точек должны быть подобны. Заметим, что никакое другое значение, кроме 1, не должно быть использовано в качестве множителя при разности в правой части, так как желательно, чтобы всякий раз, когда $r(x, y) = 0$ на связь между классификациями x и y не накладывалось никакого ограничения.

Из определения нечеткого кластера легко вывести следующие утверждения.

Утверждение. Если g и h — нечеткие кластеры, то они либо тождественны, либо их ядра не пересекаются.

Определение. Пусть C — семейство нечетких подмножеств множества X , такое, что:

- а) каждая точка X принадлежит ядру некоторого элемента из C ,
- б) каждый элемент C имеет непустое ядро. Тогда C называется нечетким покрытием X .

Определение. Пусть r — рефлексивное, симметричное нечеткое отношение в X . Если неравенство

$$|r(x, y) - r(x, z)| \leq 1 - r(y, z)$$

удовлетворяется для всех $x, y, z \in X$, то r называется *отношением похожести* в X .

Теорема (существования покрытий нечеткими кластерами). Пусть C — нечеткое покрытие X . Для того чтобы каждый элемент этого покрытия был нечетким кластером с непустым ядром, необходимо и достаточно, чтобы:

- а) r было отношением похожести,

б) C — нечеткое фактор-множество X по отношению r .

Примечание. Эту теорему можно сформулировать иначе: «Необходимое и достаточное условие существования покрытия из нечетких r -кластеров состоит в том, чтобы r было отношением похожести. В этом случае покрытие единственно, а его элементы — нечеткие множества с функциями принадлежности $r(x, \cdot)$ для всех $x \in X$ ».

Значение этого условия существования проясняется следующим результатом.

Утверждение. Если r — отношение похожести, то его дополнение $d=1-r$ есть ограниченная псевдометрика в X .

Примечание. Этот результат, по существу, указывает, что для того, чтобы r было отношением похожести, его дополнение должно быть (псевдо) метрикой в X . Таким образом, условие похожести не только слабее условия эквивалентности (так как все отношения эквивалентности являются отношениями похожести), но оно также слабее условия нечеткого подобия, дополнение которого должно удовлетворять более сильному неравенству ультраметрики

$$d(x, y) \leq \max(d(x, z), d(z, y)), \quad x, y, z \in X.$$

Кофманом А. описаны дополнения отношений похожести как множество рефлексивных симметричных нечетких отношений удовлетворяющих условию

$$d(x, y) = \inf_z (d(x, z) + d(z, y)).$$

При исследовании подмножества множества всех нечетких бинарных отношений в X , инвариантных к транзитивному расширению при различных определениях транзитивности установлено, что эквивалентный результат

$$r(x, y) = \sup_z [r(x, z) + r(z, y) - 1]^+$$

(где $[]^+$ — положительная часть функции) справедлив в том и только том случае, если r есть отношение похожести. Кроме того, установлено, что класс всех отношений похожести оказался наибольшим из классов, «инвариантных к транзитивным расширениям» при исследовании различных определений транзитивности.

2.8.4. Отношения похожести и многозначная логика

Рассмотрим полную решетку с дополнениями L_X , порожденную множеством B_X утверждений вида «*точки x и y желательно отнести к одному и тому же кластеру*», где x и y — любая пара элементов множества X . Обозначим через P, Q, R, \dots элементы L_X .

Если оценка подобия $r(x, y)$ любых двух точек из X приравнена степени истинности (в шкале $[0,1]$) утверждения «точки x и y желательно отнести к одному и тому же кластеру», то функция подобия r определяет функцию истинности

$$T: B_X \rightarrow [0, 1],$$

такую, что, если

$P(x, y) \equiv$ «точки x и y желательно отнести к одному и тому же кластеру», то $T(P(x, y)) = r(x, y)$.

Если область определения функции T расширена таким образом, что включает в себе всю решетку L_X в виде формул модифицированной логики Лукасевича алеф-1 (использование прилагательного «модифицированный» связано с тем, что некоторые из этих формул отличаются от общепринятых). Однако выписанные выражения более приемлемы, так как они удовлетворяют большинству основных аксиом стандартной логики неопределенности и к тому же аксиоме

$$T(P \rightarrow Q) = T(\neg P \cup Q).$$

$$T(\neg P) = 1 - T(P),$$

$$T(P \cap Q) = [T(P) + T(Q) - 1]^+,$$

$$T(P \cup Q) = \min(T(P) + T(Q), 1),$$

$$T(P \rightarrow Q) = \min(1, 1 - T(P) + T(Q)) = T(\neg P \cup Q),$$

то требование транзитивности отношения, индуцированного принадлежностью общему кластеру, можно рассматривать как эквивалентное утверждению, что составное высказывание —

Если «точки x и y желательно отнести к одному и тому же кластеру»

и «точки y и z желательно отнести к одному и тому же кластеру»,

то «точки x и z желательно отнести к одному и тому же кластеру» —

всегда истинно (т. е. значение истинности равно 1) для любых $x, y, z \in X$. Действительно, формальное представление этого высказывания с помощью полученных формул и определения T через r приводит к неравенству

$$r(x, z) \geq [r(x, y) + r(y, z) - 1]^+.$$

Поскольку это неравенство выполняется для всех троек x, y, z , то (учитывая, что $r(x, x) = 1$) получаем

$$r(x, z) = \sup_y [r(x, y) + r(y, z) - 1]^+,$$

т. е. r — отношение похожести. Это доказательство легко обратить и показать, что если r — отношение похожести, то соответствующее кластеризующее отношение обладает свойством транзитивности.

Итак, требование, согласно которому отношения подобия должны быть отношениями похожести (т. е. дополнениями псевдометрик), эквивалентно транзитивности кластеризующего отношения. Таким образом, в рамках модифицированной многозначной логики алеф-1 кластеризующее отношение будет отношением эквивалентности в том и только том случае, если основная структура подобия определяется отношением похожести. Это — естественное обобщение соответствующего утверждения для обычных множеств о том, что кластеризующее отношение будет отношением эквивалентности тогда и только тогда, когда основная структура подобия задается обычным отношением эквивалентности. Существенное отличие нечеткого решения состоит в том, что в рамках многозначной логики осмысленные решения находятся для более широкого класса проблем, чем при нечеткой постановке.

Интересно заметить, что если вместо формул модифицированной алеф-1 логики использовать формулы стандартной нечеткой логики Заде:

$$\begin{aligned} T(\neg P) &= 1 - T(P), \\ T(P \cap Q) &= \min(T(P), T(Q)), \\ T(P \cup Q) &= \max(T(P), T(Q)), \\ T(P \rightarrow Q) &= \min(1, 1 - T(P) + T(Q)), \end{aligned}$$

то можно показать, что условие транзитивности кластеризующего отношения эквивалентно уравнению

$$r(x, z) = \sup_y [\min(r(x, y), r(y, z))],$$

определяющему отношения нечеткой эквивалентности (или подобия, как это определено Заде).

Как было установлено ранее, требование, согласно которому отношение должно быть нечетким отношением эквивалентности, сильнее требования, согласно которому оно должно быть отношением похожести. Имея это в виду, заметим, что отсюда можно непосредственно проследить различие выражений, которые определяют степень истинности $T(P \cap Q)$ в модифицированной логике Лукасевича и логике Заде.

В логике Заде степени истинности для конъюнкции $P \cap Q$ присваивается наибольшая оценка, совместимая с требованием к T . С другой стороны, в модифицированной логике Лукасевича она получает

наименьшее значение, совместимое с оценочными аксиомами. Это наблюдение также важно для лучшего понимания, сущности сравнительных результатов работы.

2.8.5. Обобщение понятия кластера

Как уже установлено, необходимое и достаточное условие существования нечетких кластеров состоит в том, чтобы отношение было отношением похожести. В этом случае все множества, имеющие степень принадлежности, задаваемую выражением

$$c_x(\cdot) = r(x, \cdot), \quad x \in X,$$

будут кластерами и поэтому могут быть выбраны в качестве компонентов *кластеризации* выборочного множества. Если отношение подобия представить как симметричную матрицу с единицами на главной диагонали, то строки (или столбцы) этой матрицы — нечеткие множества будут одновременно и нечеткими кластерами.

Определение. Если g — кластер, а x — точка, такая, что

$$g(x) = 1,$$

то x будем называть прототипной или типичной точкой кластера g .

Как следует из результатов п. 2.8.3, для каждой точки множества X (которое может быть больше выборочного множества) найдется по крайней мере один кластер c_x , содержащий ее в качестве типичного элемента. В связи с этим возникает вопрос: может ли определение кластера быть обобщено так, чтобы включать кластеры, содержащие в качестве типичных элементов точки, которые не относятся ни к выборочным данным, ни к большему множеству элементарных исходов X .

Во многих задачах теории истин и информации множество X можно легко вложить в большее пространство, и поэтому точки этого пространства могут стать кандидатами в прототипы. С примером такого вложения мы встречаемся в случае, когда X есть конечное множество точек евклидова пространства, и точки, отличные от точек из X , выбираются в качестве прототипов. Однако в большинстве задач теории истин и информации мало известно о каких-нибудь содержательных структурах выборочного множества сверх того, что можно получить из функций подобия.

Однако даже и в этих случаях выборочное множество можно разумно вложить в большую структуру, рассматривая множество всех подмножеств $P(X)$ пространства элементарных исходов вместе с естественным вложением, которое отображает точки множества X в одноэлементные подмножества X . Эта основная идея используется в

методах *объединения* или *склеивания*, в которых кластеры образуются заменой совокупности точек единым **центроидом** (не обязательно соответствующим точке выборочного множества или пространства, в которое это множество вложено). Затем степени подобия между исходными точками и этим воображаемым центроидом подсчитываются как функции известных подобий точек выборочного множества.

Одной из целей исследования, является анализ возможности обобщений понятия кластера с помощью объединяющих вложений. Соответственно общему подходу и в этом случае осуществлено стремление к строгому развитию результатов на базе ряда хорошо определенных задач, а не к изучению свойств эвристических формул объединения.

Общие цели, от которых обычно зависит подходящее направление обобщения, состояли в следующем:

1. С использованием понятия «склеивание» предполагается по отношению подобия r , определенному на X , найти обобщение r^* , определенное на $F(X^2)$. Другими словами, нечеткие подмножества X желательно рассматривать как возможные объединения, и соответствующие обобщения r искать так, чтобы получить разумное отношение подобия между нечеткими множествами.
2. Выражение для оценки подобия между двумя нечеткими подмножествами f и g должно зависеть от значений функций принадлежности f и g и от степеней подобия $r(x, y)$, таких, что или $f(x)g(y) \neq 0$ или $f(y)g(x) \neq 0$, но не от каких других значений r .

Заметим, что в результате склеивания получают нечеткие множества общего вида (с непустыми ядрами) и не ограничиваются нечеткими кластерами.

3. Сужение расширения r^* на прямое произведение X^2 (при естественном вложении элементов X как одноэлементных четких подмножеств X и, следовательно, как нечетких подмножеств множества X) должно быть эквивалентно r . Это условие гарантирует, что r^* есть расширение r .

4. Если r — отношение похожести в X , то расширение r^* должно быть отношением похожести в $F(X)$.

Интерполяция по прототипам

Определение расширения функции подобия r на $F(X)$ может рассматриваться как эквивалент определению подобия между воображаемыми центрами тяжести каждой нечеткой склейки. Каждая такая функция подобия будет определять подобие между нечеткими

объединениями как взвешенное среднее степеней подобия между точками x , причем весовые значения определяются степенью принадлежности каждой точки соответствующим склейкам. Это — основная идея, обосновывающая представления для четкого случая. Для того чтобы получить приводимые далее формулы, в данном исследовании выдвигается дополнительное условие «евклидовой согласованности».

Для характеристики понятия «евклидовой согласованности» сформулируем следующее определение.

Определение. Центроидом нечеткого подмножества f евклидова пространства R^n называется точка x_f , определенная выражением

$$x_f = (1/\Omega(f)) (\sum y f(y)),$$

где суммирование проводится по точкам носителя f .

Условие «евклидовой согласованности» можно сформулировать в следующем виде.

Определение (евклидовой согласованности). Пусть X — подмножество евклидова пространства R^n и пусть функция подобия r есть дополнение евклидова расстояния d в X . Тогда расширение r до r^* , равное дополнению к евклидову расстоянию между центроидами нечетких подмножеств из R (при котором предполагается переход от нечеткого множества к центроидному отображению и к евклидову расстоянию в выпуклой оболочке множества X), называется расширением (и единственным) R до X , удовлетворяющим условию евклидовой согласованности.

Введение понятия **евклидовой согласованности** гарантирует, что в евклидовом случае расширение будет согласовано с нашим собственным интуитивным представлением о расстоянии между центроидами в евклидовых пространствах. Кроме того, важность включения евклидовой согласованности как одного из условий подтверждается следующими результатами, которые связывают его с отношением похожести и, следовательно, с проблемой существования нечетких кластеров.

Теорема. Пусть r — отношение подобия в $X \subset R^n$. Если r есть дополнение евклидова расстояния d в X , то его однозначное расширение r^* удовлетворяет свойству евклидовой согласованности и определяется выражением

$$(d^*(f, g))^2 = -\frac{1}{2} \sum \sum [(\varphi(x) - \gamma(x)) (d^2(x, y)) (\varphi(y) - \gamma(y))], (*)$$

где $\varphi(x) = f(x)/\Omega(f)$; $\gamma(x) = g(x)/\Omega(g)$;

$$d^* = 1 - r^*; \quad d = 1 - r,$$

и где все суммы берутся по теоретико-множественному объединению носителей f и g .

Теорема. Пусть f и g — нечеткие подмножества исходного конечного множества X . Пусть r — отношение подобия в X и $Q^*(f, g)$ определяется выражением

$$Q^*(f, g) = -\frac{1}{2} \sum \sum [(\varphi(x) - \gamma(x)) (d^2(x, y) (\varphi(y) - \gamma(y))],$$

где φ и γ те же, что и в (*); $d=1-r$, и все суммы берутся по теоретико-множественному объединению носителей f и g .

Чтобы величина $Q^*(f, g)$ была неотрицательной для всех пар (непустых ядер) нечетких подмножеств f и g в $F(X)$, необходимо и достаточно, чтобы r было отношением похожести. Если r — отношение похожести, то Q^* определяет отношение подобия r^* в $F(X)$:

$$r^*(f, g) = 1 - Q^*(f, g)^{1,2}.$$

К тому же r^* само есть отношение похожести в $F(X)$.

Таким образом, отношения похожести не только гарантируют существования кластеров в X , но и могут быть расширены до отношения похожести на множество $F(X)$ всех нечетких множеств X с непустыми ядрами. Расширение r^* можно использовать (формируя нечеткое фактор-множество множества $F(X)$ по r^*) для определения нечетких кластеров, имеющих нечеткие подмножества X в качестве типичных элементов (т. е. обобщенных «центроидов»).

Иерархические кластеры и геодезические пути

Теперь, используя представленные ранее теоретические результаты, можно рассмотреть формально заложенную в процедуры объединения эвристическую идею получения иерархической таксономии выборочных данных.

Процесс, с помощью которого (в традиционном контексте) к растущим кластерам добавляются точки до тех пор, пока не закончится классификация всей выборки (т. е. **пока не будет достигнут корень дерева**), можно рассматривать как процесс нахождения пути, который начинается в одноэлементном подмножестве $\{x\}$ множества X и проходит по возрастающим по мощности элементам множества $P(X)$ всех подмножеств множества X , пока не достигнет всего выборочного множества X .

Аналогично этому в нечетком случае *путь склеивания* можно рассматривать как *непрерывную* кривую, проходящую процессом склеивания во множестве $F(X)$ всех нечетких подмножеств X с непустыми ядрами. Этот путь опять начинается в соответствующем

нечетком подмножестве выборочного множества, проходит по все большим и большим нечетким подмножествам X (большим — в смысле включения нечетких множеств), пока, наконец, не достигнет полного множества f выборочных данных. Однако в отличие от обычного случая проходимые на пути склеивания нечеткие подмножества становятся не кластерными компонентами таксономии, а скорее, как это обсуждалось, их *прототипными элементами*.

Поскольку в нечетком случае путь, который объединяет нечеткие подмножества f с полным выборочным множеством f непрерывный, то для анализа вопросов, связанных с задачей определения их путей, можно применять все методы непрерывного анализа.

Так как в силу рассмотренного обобщения понятия кластера множество $F(X)$ представляет собой непрерывное метрическое пространство, то свойства путей склеивания можно описать в терминах структуры расстояния. Из всех возможных свойств, которыми должен обладать путь склеивания, особенно привлекательно, чтобы он был *минимальным* или *геодезическим путем*. Это условие интересно по крайней мере, с двух точек зрения.

1. Длина пути между двумя нечеткими подмножествами f и g представляет собой предел суммы расстояний (т. е. криволинейный интеграл) вдоль пути. Каждый член в этих суммах есть расстояние между двумя последовательными элементами ломаной, которая аппроксимирует криволинейный путь. Таким образом, кривая, колеблющаяся между различными нечеткими множествами (в ранее обсуждавшемся смысле) будет иметь большую длину, чем кривая, соединяющая данные конечные точки и проходящая через «близкие» элементы $F(X)$. Поэтому общая длина пути представляет собой адекватную классификационную характеристику пути, рассматриваемого как способ организации подмножеств множества X в иерархическую структуру, наилучшим образом отображающую существующую метрическую структуру множества X . Следовательно, **определение геодезических путей эквивалентно оптимизации этой меры адекватности.**

2. Принцип оптимальности Беллмана гарантирует, что дуги оптимального пути будут также оптимальными частями пути между конечными точками.

Следовательно, два оптимальных пути, исходящих из нечетких подмножеств g_1 и g_2 и пересекающихся в общей для них точке могут быть оптимально продолжены от h до f . Получающееся в результате семейство оптимальных путей образует иерархическую структуру, имеющую своим корнем выборочное множество f .

Если предположить, что X содержит конечное число N точек и если нечеткие множества в X представлены векторами, имеющими N действительных компонент (каждая из которых принадлежит $[0, 1]$), то проблему определения оптимального пути склеивания можно формально описать следующим образом (в обычных производных и общих дифференциальных выражениях употребляется буква δ во избежание путаницы с функцией расстояния d):

найти непрерывно дифференцируемую кривую

$$g : [s_0, s_f] \rightarrow [0, 1]^N,$$

такую, что

$$1) \quad (\delta g / \delta s) = v(s) \geq 0 \quad \text{в} \quad [s_0, s_f],$$

$$2) \quad g(s_0) = g_0, \quad g(s_f) = f \quad (g_0 \leq f),$$

$$3) \quad \langle v(s), v(s) \rangle = 1 \quad \text{в} \quad [s_0, s_f] \quad (\text{где } \langle, \rangle \text{ — скалярное произведение в } R^N),$$

и такую, что

$$L(g) = \int \langle \nabla_2 d^*(g(s), g(s)), v(s) \rangle \delta s \quad \text{минимально},$$

где криволинейный интеграл берется вдоль $g : \nabla_2 d^*(g, g)$ — градиент функции обобщенного расстояния $d^*(g, h)$ от второго аргумента, взятый при $h=g$.

Для экономии места производная точных формул для обобщения будет опущена.

Поскольку реальный расчет геодезических кривых на $F(X)$ может быть слишком сложным, субоптимальное решение можно получить, следуя по линии «наименьшего сопротивления» от g_0 к f , т. е. принимая $v(s)$ за единичный вектор в конусе

$$W^+ = \{w \in R^N : w \geq 0\},$$

для которого скалярное произведение

$$w(s) = \langle \nabla_2 d^*(g(s), g(s)), v(s) \rangle$$

минимально.

Кластеризуемость

Геодезический подход к определению путей склеивания и, следовательно, иерархических таксономии в X , не обязательно дает семейство кривых, обладающих свойством определять единственный путь от каждого соответствующего нечеткого подмножества g множества f к множеству f .

Несмотря на то, что в большинстве задач теории истин и информации эта трудность легко преодолевается с помощью правил,

учитывающих природу конкретной задачи, отмеченное отсутствие единственности представляет теоретический интерес как свидетельство того, что структура подобия может все-таки определять и единственную таксономическую структуру на множестве.

Легко видеть, что экстремальные примеры столь бедных структур подобия характеризуются оптимальностью каждого пути склеивания.

Поэтому индуцируемая структурой подобия четкость определения геодезических путей есть хороший показатель «кластеризуемости». Важно отметить, что такие показатели имеют локальную природу, т. е. они описывают возможности кластеризации в окрестности точки множества $F(X)$ (т. е. нечеткого подмножества X с непустым ядром) и, таким образом, оказываются полезными для идентификации подмножеств выборочных данных, трудных для классификации.

Точно так же, как значение второй производной действительной функции действительной переменной в окрестности точки минимума есть хороший показатель четкости изгиба кривой около этой точки, примеры количественных мер кластеризуемости в окрестности нечеткого подмножества g зависят от вариаций второго порядка минимизируемых функций. Один такой пример дают меры, связанные со второй вариацией функции длины $L(g)$ (всякий раз, когда такая вариация определена) около геодезической кривой g^* .

2.8.6. Представления и кластеризации

Одна из главных характеристик излагаемой теории кластеризации состоит в проведении семантического и формального разграничения понятия кластера и кластеризации.

В предыдущем пункте приведено определение кластеров как особых подмножеств выборочного множества и обсуждены вопросы, связанные с этим определением.

Настоящий пункт в первую очередь посвящен проблеме представления выборок истин с помощью нечетких кластеров. В отличие от проблемы определения кластера, где требования, которым должны удовлетворять нечеткие кластеры, можно было установить в общем виде, проблема определения «адекватного» представления существенно зависит от контекста задачи. Далее кратко обсуждаются два подхода для случаев, когда цель проблемы представления неформальным образом можно охарактеризовать как поиск наиболее экономичного описания выборки истин с помощью нечетких кластеров. До конца пункта будет предполагаться, что исходное множество X содержит конечное число точек.

Минимальные представления

При первом подходе к описанию множества истин через кластеры выдвинутые идеи обобщаются с помощью идентификации функционалов, определенных на множестве истин всех возможных представлений, которые затем оптимизируются для получения желаемой кластеризации. В этом случае основное отличие состоит в дополнительном условии, которое ограничивает множества компонентов представления нечеткими кластерами.

Определение. Пусть k — отношение похожести в X и пусть c и f — нечеткие подмножества X . Если

$$\sum_y r(x, y) c(y) \geq f(x) \quad \text{для всех } x \in X,$$

где суммы берутся по всем $y \in X$, то c называется *нечетким r -представлением нечеткого подмножества f* (или, короче, просто представлением).

Примечание. Это определение выявляет формальный смысл понятия представления через требование, согласно которому выборочное множество f должно представляться линейной комбинацией нечетких кластеров в X (всех тех, которые имеют степень принадлежности $r(x, \cdot)$). Особо отметим, что выведенное из модифицированной алеф-1 логики выражение для объединений нечетких множеств — выражение аддитивного типа.

Определение. Пусть H есть функция, отображающая нечеткие подмножества X в неотрицательные действительные числа. Тогда если c^* таково, что а) c^* есть представление f , б) $H(c^*) \leq H(c)$ для любого c -представления f , то c^* называется *H -минимальным представлением f* (или, короче, минимальным представлением).

Среди всех возможных определений для представления функционала H имеются и такие, которые удовлетворяют ряду свойств, предъявляемых в качестве основных требований для любого такого функционала. Формулировка этих свойств и аксиоматическое определение функционалов, которые удовлетворяют им, показывают, что семейство функционалов

$$H_\beta(c) = \sum c(y)^\beta,$$

(где суммирование ведется по X и β — действительное число в открытом $(0, 1)$ интервале числовой прямой) обладает определенными желаемыми характеристиками представления.

Итеративное порождение кластеров

Второй тип подходов отличается тем, что все нечеткие кластеры, которыми можно представить выборку истин, полностью характери-

зуются теоремой существования нечетких кластеров. Функция принадлежности для этих кластеров непосредственно связана с функцией подобия.

Поскольку кластеры, имеющие большие пересечения с выборочным множеством, более предпочтительны как компоненты экономического представления, чем те, которые не пересекаются с ним, то рассмотрение подходов к проблеме представления, используемых в факторном анализе, приводит к следующему определению.

Определение. Пусть x — точка множества X , r — отношение похожести в X , f — нечеткое подмножество X . Если через r_z обозначить нечеткое подмножество X , определенное выражением

$$r_z(y) = r(z, y) \text{ для всех } y \in X, z \in X,$$

то r_x будет называться главной компонентой f тогда и только тогда, когда для всех $y \in X$

$$C(r_x \cap f) \geq C(r_y \cap f).$$

Несмотря на то, что в приведенной формуле можно использовать любое подходящее определение операции взятия пересечения нечетких множеств, однако отношение похожести и модифицированная логика алеф-1, рассмотренные в п.2.8.4, предопределяют, что наилучшим вариантом выражения, максимизация которого (по всем $x \in X$) определит главную компоненту, будет

$$C(r_x \cap f) = \sum [r(x, y) + f(y) - 1]^+,$$

где сумма берется по всем $y \in X$.

Как только главная компонента r_x определена (их может существовать несколько), не охваченная классификацией часть выборки

$$\Delta_x(y) = f(y) - [f(y) + r(x, y) - 1]^+ = \min(f(y), 1 - r(x, y))$$

может быть сама по себе исследована для выделения основных компонент. Этот процесс может продолжаться до тех пор, пока не выполнится условие $c(\Delta(y)) \leq \varepsilon$ для некоторого малого положительного ε .

В заключение отметим, что представленные в этом разделе теоретические результаты дали возможность установить формальные и семантические связи между понятиями кластеризации, ранее введенными чисто эвристическим образом. Использование строгого аксиоматического подхода позволило идентифицировать связи между понятиями кластера, прототипа кластера, иерархической таксономии и кластеризуемости множества. Кроме того, понятие **кластера** (подмножества исходного выборочного множества, обладающего определенными специальными свойствами) было отделено от

понятия **кластеризации** (в определенном смысле описания выборочного множества через его кластеры).

Это основание для рационального обсуждения вопросов, относящихся к проблемам автоматической классификации, используется в ряде исследований, которые включают:

- 1) сравнительное изучение различных подходов к представлению с точки зрения их применимости к классификации истин больших выборок,
- 2) разработку адаптивных процедур кластеризации, которые непрерывно и автоматически модифицируют таксономии в ответ на динамические изменения базовой структуры подобия,
- 3) применение разработанных алгоритмов и методов к динамической организации и реорганизации в реальном масштабе времени больших текстуальных баз истин.
- 4) дальнейшее развитие теоретических результатов (в частности, в области представления выборочных истин).

2.9. Классы распознаваемых истин

Цель изложения: введение в способы классификации распознаваемых истин, большие и сложные распознаваемые истины.

Классификацию распознаваемых истин можно осуществлять по различным критериям. Проводить ее жестко невозможно, она зависит от цели и ресурсов распознавания. Предложим классификацию распознаваемых истин по приведенным ниже критериям, руководствуясь изложенными выше основами теории классификации.

1. По отношению распознаваемой истины к окружающей среде:
 - открытые (есть обмен ресурсами с окружающей средой);
 - закрытые (нет обмена ресурсами с окружающей средой).
2. По происхождению распознаваемых истин (элементов, связей, подсистем):
 - искусственные (орудия, механизмы, машины, автоматы, роботы и т.д.);
 - естественные (живые, неживые, экологические, социальные и т.д.);

- виртуальные (воображаемые и, хотя реально не существующие, но функционирующие так же, как и в случае, если бы они существовали);
 - смешанные (экономические, биотехнические, организационные и т.д.).
3. По описанию переменных распознаваемых истин:
- с качественными переменными (имеющие лишь содержательное описание);
 - с количественными переменными (имеющие дискретно или непрерывно описываемые количественным образом переменные);
 - смешанного (количественно-качественное) описания.
4. По типу описания закона (законов) функционирования распознаваемых истин:
- типа "Черный ящик" (неизвестен полностью закон функционирования распознаваемой истины; известны только входные и выходные каналы);
 - не параметризованные (закон не описан; описываем с помощью хотя бы неизвестных параметров; известны лишь некоторые априорные свойства закона);
 - параметризованные (закон известен с точностью до параметров и его возможно отнести к некоторому классу зависимостей);
 - типа "Белый (прозрачный) ящик" (полностью известен закон).
5. По способу управления распознаваемой истины:
- управляемые извне распознаваемые истины (без обратной связи, регулируемые, управляемые структурно, информационно или функционально);
 - управляемые изнутри (самоуправляемые или саморегулируемые - программно управляемые, регулируемые автоматически, адаптируемые - приспособляемые с помощью управляемых изменений состояний, и самоорганизующиеся - изменяющие во времени и в пространстве свою структуру наиболее оптимально, упорядочивающие свою структуру под воздействием внутренних и внешних факторов);
 - с комбинированным управлением (автоматические, полуавтоматические, автоматизированные, организационные).

6. По предметному признаку (объекты (процессы) жизнеобеспечения человека (человечества)):
- финансовые;
 - социальные;
 - промышленные;
 - аграрные;
 - транспортные;
 - экономические;
 - здравоохранения;
 - образования;
 - науки;
 - культуры;
 - правоохранительные;
 - оборонные;
 - экологические.

Пример. Рассмотрим истину "Озеро" как экологический распознаваемый объект. Это открытый, естественного происхождения распознаваемый объект, переменные которого можно описать смешанным образом (количественно и качественно, в частности, температура водоема - количественно описываемая характеристика), структуру обитателей озера можно описать и качественно и количественно, а красоту озера можно описать качественно. По типу описания закона функционирования распознаваемого объекта, этот распознаваемый объект можно отнести к непараметризованным в целом, хотя возможно выделение подобъектов различного типа, в частности, различного описания подобъекта "Водоросли", "Рыбы", "Впадающий ручей", "Вытекающий ручей", "Дно", "Берег" и др.

Распознаваемая истина "Компьютер" - открытый, искусственного происхождения, смешанного описания, параметризованный, управляемый извне (программно).

Распознаваемая истина "Логический диск" - открытый, виртуальный, количественного описания, типа "Белый ящик" (при этом содержимое диска мы в эту проблему не включаем!), смешанного управления. Распознаваемая истина "Фирма" - открытая, смешанного происхождения (организационный) и описания, управляемая изнутри (адаптируемый, в частности, объект).

Распознаваемую истину будем называть большой, если ее исследование или моделирование затруднено из-за большой размерности, т.е. множество состояний распознаваемой истины S имеет большую размерность. Какую же размерность нужно считать большой? Об этом мы можем судить только для конкретной истины,

конкретной цели распознавания и конкретных средств (ресурсов). Большая распознаваемая истина сводится к истине меньшей размерности использованием более мощных средств (или ресурсов) распознавания либо разбиением задачи распознавания на ряд задач меньшей размерности (если это возможно).

Это особенно актуально при распознавании больших распознаваемых истин, например, при разработке компьютеров с параллельной архитектурой или алгоритмов с параллельной структурой данных и с их параллельной обработкой.

Во многих печатных работах можно встретить словосочетания "сложная задача", "сложная проблема", "сложная система" и т.п. Интуитивно, как правило, под этими понятиями понимается какое-то особое поведение распознаваемого объекта или распознаваемого процесса, делающее невозможным (непреодолимая сложность) или особо трудным (преодолимая сложность) описание, исследование, предсказание или оценку поведения, развития объекта.

Существуют различные определения сложности. Расознаваемую истину будем называть сложной, если при распознавании не хватает ресурсов (главным образом, информационных) для эффективного описания (состояний, законов функционирования) и управления истиной: определения, описания управляющих параметров или для принятия решений в таких проблемах (в таких проблемах всегда должна быть подпроблема принятия решения). Сложным будем считать и такую распознаваемую истину, для которой по ее трем видам описания нельзя выявить ее траекторию, сущность, и поэтому необходимо еще дополнительное интегральное описание (интегральная модель поведения, или конфигуратор) - морфолого-функционально-инфологическое.

Пример. Сложными распознаваемыми истинами являются, например, химические реакции, если их распознавать (исследовать) на молекулярном уровне; клетка биологического образования, взятая на метаболическом уровне; мозг человека, если его распознавать (исследовать) с точки зрения выполняемых человеком интеллектуальных действий; экономика, рассматриваемая на макроуровне (т.е макроэкономика); человеческое общество - на политико-религиозно-культурном уровне; ЭВМ, как средство получения знаний; язык - во многих аспектах его рассмотрения. В сложных распознаваемых истинах результат функционирования не может быть задан заранее, даже с некоторой вероятностной оценкой адекватности. Причины такой неопределенности - как внешние, так и внутренние, как в структуре, так и в описании функционирования,

эволюции. Сложность этих распознаваемых истин обусловлена их сложным поведением. Сложность распознаваемой истины зависит от принятого уровня описания или изучения распознаваемой истины - макроскопического или микроскопического. Сложность распознаваемой истины может определяться не только большим количеством подобъектов и сложной структурой, но и сложностью поведения.

Сложность распознаваемой истины может быть *внешней и внутренней*. *Внутренняя* сложность определяется сложностью множества внутренних состояний, потенциально оцениваемых по проявлениям распознаваемой истины и сложности управления распознаваемой истиной. *Внешняя* сложность определяется сложностью взаимоотношений с окружающей средой, сложностью управления распознаваемой истиной, потенциально оцениваемых по обратным связям распознаваемой истины и среды. Предложим классификацию сложных распознаваемых истин по различным типам сложности:

- структурной или организационной (не хватает ресурсов для построения, описания, управления структурой);
- динамической или временной (не хватает ресурсов для описания динамики поведения распознаваемой истин и управления ее траекторией);
- информационной или информационно-логической, инфологической (не хватает ресурсов для информационного, информационно-логического описания распознаваемой истины);
- вычислительной (не хватает ресурсов для эффективного распознавания, расчетов параметров распознаваемой истины, или ее проведение затруднено из-за нехватки ресурсов);
- алгоритмической или конструктивной (не хватает ресурсов для описания алгоритма функционирования или управления распознаваемой истиной, для функционального описания распознаваемой истины);
- развития или эволюции, самоорганизации (не хватает ресурсов для устойчивого развития, самоорганизации распознаваемой истины).

Чем сложнее распознаваемая истина, тем более разнообразные и более сложные внутренние информационные процессы приходится актуализировать для того, чтобы была достигнута цель распознавания.

Пример. Поведение ряда различных реальных распознаваемых истин (например, соединенных между собой проводников с сопротивлениями x_1, x_2, \dots, x_n или химических соединений с концентрациями x_1, x_2, \dots, x_n , участвующих в реакции химических реагентов) описывается системой линейных алгебраических уравнений, записываемых в матричном виде:

$$X=AX+B$$

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ x_n \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ b_n \end{pmatrix}$$

Заполнение матрицы **A** (ее структура) будет отражать сложность описываемой распознаваемой истины. Если, например, матрица **A** -

верхнетреугольная матрица (элемент, расположенный на пересечении i -ой строки и j -го столбца всегда равен 0 при $i > j$), то независимо от n (размерности распознаваемой истины) она легко исследуется на разрешимость. Для этого достаточно выполнить обратный ход метода Гаусса. Если же матрица \mathbf{A} - общего вида (не является ни симметричной, ни ленточной, ни разреженной и т.д.), то проблему распознавания сложнее исследовать (так как при этом необходимо выполнить более сложную вычислительно и динамически процедуру прямого хода метода Гаусса). Следовательно, распознаваемая истина будет обладать структурной сложностью (которая уже может повлечь за собой и вычислительную сложность, например, при нахождении решения задачи распознавания). Если число n достаточно велико, то неразрешимость задачи хранения матрицы \mathbf{A} верхнетреугольного вида в оперативной памяти компьютера может стать причиной вычислительной и динамической сложности исходной задачи распознавания. Попытка использовать эти данные путем считывания с диска приведет к многократному увеличению времени счета (увеличит динамическую сложность - добавятся факторы работы с диском).

Пример. Пусть имеется динамическая распознаваемая истина, поведение которой описывается задачей Коши вида

$$y'(t) = ky(t), \quad y(0) = a$$

Эта задача имеет решение:

$$y(t) = ae^{-kt}$$

Отсюда видно, что $y(t)$ при $k=10$ изменяется на порядок быстрее, чем $y(t)$ при $k=1$, и динамику проблемы распознавания сложнее будет отслеживать: более точное предсказание для $t \rightarrow 0$ и малых k связано с дополнительными затратами на вычисления. Следовательно, алгоритмически, информационно, динамически и структурно "не очень сложная распознаваемая истина" (при $a, k \neq 0$) может стать вычислительно и, возможно, эволюционно сложной (при $t \rightarrow 0$), а при больших t ($t \rightarrow \infty$) - и нераспознаваемой. Например, для **больших t значения накапливаемых погрешностей вычислений решения могут перекрыть значения самого решения.** Если при этом задавать нулевые начальные данные $a \neq 0$, то проблема может перестать быть, например, информационно несложной, особенно, если a трудно априорно определить.

Пример. Упрощение технических средств работы в сетях, например, научные достижения, позволяющие подключить компьютер непосредственно к сети, "к розетке электрической сети", наблюдается наряду с усложнением самих сетей, например, с увеличением количества абонентов и информационных потоков в интернет. Наряду с усложнением самой сети интернет, упрощаются (для пользователя!) средства доступа к ней, увеличиваются ее вычислительные возможности.

Структурная сложность распознаваемой истины оказывает влияние на динамическую, вычислительную сложность. Изменение динамической сложности может привести к изменениям структурной сложности, хотя это не является обязательным условием. Сложной распознаваемой истиной может быть и распознаваемая истина, не являющаяся большой; существенным при этом может стать связность (сила связности) элементов и подобъекта объекта (см. вышеприведенный пример с матрицей системы линейных алгебраических уравнений). Сложность распознаваемой истины определяется целями и ресурсами (набором задач, которые она призвана решать).

Пример. Сложность телекоммуникационной сети определяется:

1. необходимой скоростью передачи данных;
2. протоколами, связями и типами связей (например, для селекторного совещания необходима голосовая телеконференция);
3. необходимостью видеосопровождения.

Само понятие сложности распознаваемой истины не является чем-то универсальным, неизменным и может меняться динамически, от состояния к состоянию. При этом и слабые связи, взаимоотношения распознаваемой истины могут повышать сложность распознаваемой истины.

Пример. Рассмотрим процедуру деления единичного отрезка $[0; 1]$ с последующим выкидыванием среднего из трех отрезков и достраиванием на выкинутом отрезке равностороннего треугольника (рис. 1); эту процедуру будем повторять каждый раз вновь к каждому из остающихся после выкидывания отрезков. Этот процесс является структурно простым, но динамически сложным, более того, образуется

динамически интересная и трудно прослеживаемая картина распознаваемой истины, становящейся "все больше и больше, все сложнее и сложнее". Такого рода структуры называют *фракталами*, или *фрактальными структурами* (фрактал - от fraction - "дробь" и fracture - "излом", т.е. изломанный объект с дробной размерностью). Его отличительная черта - *самоподобие*, т.е. сколь угодно малая часть фрактала по своей структуре подобна целому, как ветка - дереву.

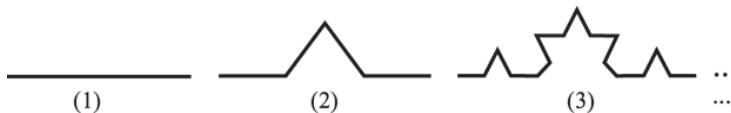


Рис. 1. Фрактальный объект (кривая Коха)

Уменьшив сложность распознаваемой истины, часто можно увеличить ее информативность, распознаваемость.

Пример. Выбор рациональной проекции пространственного объекта (т.е. более оптимальная визуализация связей и отношений его частей) делает чертеж более информативным. Используя в качестве устройства эксперимента микроскоп, можно рассмотреть некоторые невидимые невооруженным глазом свойства истины.

Распознаваемая истина называется *связным*, если любые две подистины обмениваются ресурсом, т.е. между ними есть некоторые ресурсоориентированные отношения, связи. При определении меры сложности распознаваемой истины важно выделить инвариантные свойства распознаваемой истины или информационные инварианты и вводить меру сложности распознаваемой истины на основе их описаний.

Приведем математический аппарат, позволяющий формализовать понятие сложности, хотя отметим, что понятие сложности - "сложное".

Мерой распознаваемой истины будем называть некоторую непрерывную действительную неотрицательную функцию, определенную на множестве распознаваемых истин (событий, систем, множеств) и являющуюся аддитивной, т.е. мера конечного объединения распознаваемых истин (событий, систем, множеств) равна сумме мер каждой распознаваемой истины (события). Как же определять меру сложности для распознаваемой истины различной структуры? Ответ на этот не менее сложный вопрос не может быть однозначным и даже вполне определённым.

Сложность распознаваемой истины связывается с мерой $\mu(S)$ - мерой сложности или числовой неотрицательной функцией (критерием, шкалой) заданной (заданным) на некотором множестве

элементов и подобъектов распознаваемого объекта S . Возможны различные способы определения меры сложности распознаваемой истины. Сложность структуры распознаваемой истины можно определять топологической энтропией - сложностью конфигурации структуры (распознаваемой истины):

$$S = k \ln W,$$

где $k=1,38 \times 10^{-16}$ (эрг / град) - постоянная Больцмана, W - вероятность состояния распознаваемой истины. В случае разной вероятности состояний эта формула будет иметь вид (мы ниже вернемся к детальному обсуждению этой формулы и ее различных модификаций):

$$S = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$



Пример. Определим сложность иерархической распознаваемой истины как число уровней иерархии. Увеличение сложности распознаваемой истины при этом требует больших ресурсов для достижения цели распознавания. Определим сложность линейной структуры как количество подобъектов распознаваемого объекта. Определим сложность сетевой структуры как максимальную из сложностей всех линейных структур, соответствующих различным стратегиям достижения цели (путей, ведущих от начальной подпроблемы распознавания к конечной). Сложность распознаваемого объекта с матричной структурой можно определить количеством подобъектов распознаваемого объекта. Усложнение некоторого подобъекта распознаваемого объекта приведет к усложнению всего распознаваемого объекта в случае линейной структуры, и, возможно, в случае иерархической, сетевой и матричной структур.

Пример. Для многоатомных молекул число межъядерных расстояний (оно определяет конфигурацию молекулы) можно считать оценкой сложности топологии (геометрической сложности) молекулы. Из химии и математики известна эта оценка: $3N-6$, где N - число атомов в молекуле. Для твердых растворов можно считать W равной числу перестановок атомов разных сортов в заданных позициях структуры; для чистого кристалла $W=1$, для смешанного - $W>1$. Для чистого кристалла сложность структуры $S=0$, а для смешанного - $S>0$, что и следовало ожидать.

Пример. В эколого-экономических распознаваемых истинах сложность распознаваемой истины может часто пониматься как эволюционируемость, сложность эволюции распознаваемой истины, в частности, мера сложности - как функция изменений, происходящих в распознаваемой истине в результате контакта с окружающей средой, и эта мера может определяться сложностью взаимодействия между распознаваемой истиной (организмом, организацией) и средой, ее управляемости. Эволюционную сложность эволюционирующей распознаваемой истины можно определить как разность между внутренней сложностью и внешней сложностью (сложностью полного управления распознаваемой истиной). Решения в данных проблемах распознавания должны приниматься (для устойчивости распознаваемой истины) таким образом, чтобы *эволюционная сложность равнялась нулю, т.е. чтобы совпадали внутренняя и внешняя сложности. Чем меньше эта разность, тем устойчивее распознаваемая истина*, например, чем более сбалансированы внутрирыночные отношения и регулирующие их управляющие государственные воздействия - тем устойчивее рынок и рыночные отношения.

Пример. В математических, формальных проблемах распознавания, сложность распознаваемой истины может пониматься как алгоритмизируемость, вычислимость оператора системы S , в частности, как число операций и операндов, необходимых для получения корректного результата распознавания при любом допустимом входном наборе. Сложность алгоритма может быть определена количеством операций, осуществляемых командами алгоритма для самого "худшего" (самого длительного по пути достижения цели) тестового набора данных.

Пример. Сложность программного комплекса L может быть определена как логическая сложность и измерена в виде $L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5$, где L_1 - общее число всех логических операторов, L_2 - общее число всех исполняемых операторов, L_3 - показатель сложности всех циклов (определяется с помощью числа циклов и их вложенности), L_4 - показатель сложности циклов (определяется числом условных операторов на каждом уровне вложенности), L_5 - определяется числом ветвлений во всех условных операторах.

Пример. Аналогично примеру, приведенному в книге Дж. Касти, рассмотрим трагедию В. Шекспира "Ромео и Джульетта". Выделим и опишем 3 совокупности: *A* - пьеса, акты, сцены, мизансцены; *B* - действующие лица; *C* - комментарии, пьеса, сюжет, явление, реплики. Определим иерархические уровни и элементы этих совокупностей.

A:

уровень $N+2$ - Пьеса;

уровень $N+1$ - Акты $\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$;

уровень N - Сцены $\{s_1, s_2, \dots, s_q\}$;

уровень $N-1$ - Мизансцены $\{m_1, m_2, \dots, m_{26}\}$.

B:

уровень N - Действующие лица $\{c_1, c_2, \dots, c_{25}\} = \{\text{Ромео, Джульетта, \dots}\}$.

C:

уровень $N+3$ - Пролог (адресован непосредственно зрителю и лежит вне действий, разворачивающихся в пьесе);

уровень $N+2$ - Пьеса;

уровень $N+1$ - Сюжетные линии $\{p_1, p_2, p_3, p_4\} = \{\text{Вражда семейств Капулетти и Монтеки в Вероне, Любовь Джульетты и Ромео и их венчание, Убийство Тибальда и вражда семейств требует отмщения, Ромео вынужден скрываться, Сватовство Париса к Джульетте, Трагический исход}\}$;

уровень N - Явления $\{u_1, u_2, \dots, u_8\} = \{\text{Любовь Ромео и Джульетты, Взаимоотношения между семейством Капулетти и Монтеки, Венчание Ромео и Джульетты, Схватка Ромео и Тибальда, Ромео вынужден скрываться, Сватовство Париса, Решение Джульетты, Гибель влюблённых}\}$;

уровень $N-1$ - Реплики $\{r_1, r_2, \dots, r_{104}\} = \{104 \text{ реплики в пьесе, которые определяются как слова, обращённые к зрителю, действующему лицу и развивающие неизвестный пока зрителю сюжет}\}$.

Отношения между этими совокупностями на различных уровнях иерархии определяемы из этих совокупностей. Например, если Y - сюжеты, X - действующие лица, то естественно определить связь 1 между X, Y так: действующее лицо из совокупности X уровня $N+1$ участвует в сюжете Y уровня $N+1$. Тогда связность структуры трагедии можно изобразить следующей схемой (рис. 2):

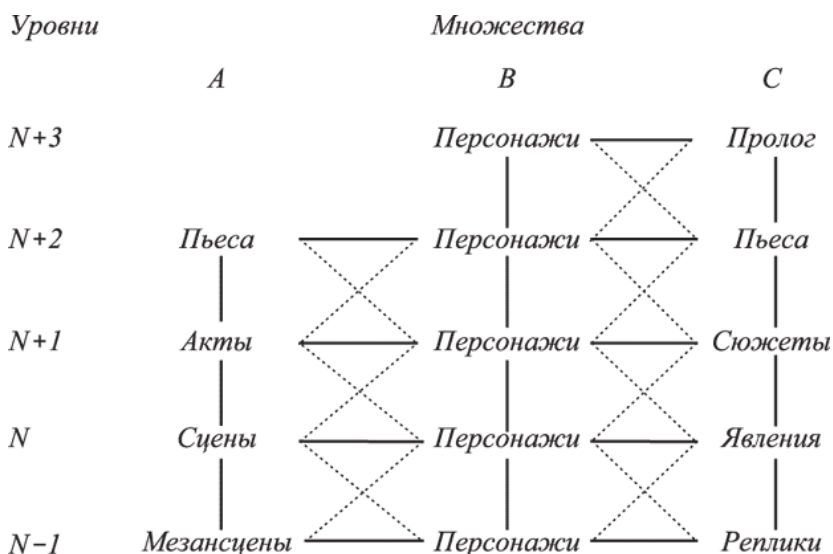


Рис. 2. Схема структурных связей пьесы

В этом комплексе $K(Y, X)$ все три сюжета становятся отдельными компонентами только на уровне связности $q=8$. Это означает, что сюжетные линии могут быть различны только для зрителей, следящих за 9 действующими лицами. Аналогично, при $q=6$ имеются всего 2 компоненты $\{p_1, p_2\}, \{p_3\}$. Следовательно, если зрители могут отслеживать только 7 персонажей, то они видят пьесу, как бы состоящую из двух сюжетов, где p_1, p_2 (мир влюбленных и вражда семейств) объединены. В комплексе $K(Y, X)$ при $q=5$ имеются 3 компоненты. Следовательно, зрители, видевшие только 6 сцен, воспринимают 3 сюжета, не связанные друг с другом. Сюжеты p_1 и p_2

объединяются при $q=4$, и поэтому зрители могут видеть эти два сюжета как один, если следят только за 5 сценами. Все 3 сюжета сливаются, когда зрители следят лишь за 3 сценами. В комплексе $K(Y, X)$ явление u_8 доминирует в структуре при $q=35$, u_3 - при $q=26$, u_6 - при $q=10$. Следовательно, u_8 вероятнее всего поймут те зрители, которые прослушали 36 реплик, хотя для понимания u_3 необходимо 27 реплик, а для понимания u_6 - только 11 реплик.

Таким образом, проведенный анализ дает понимание сложности проблемы распознавания.

Будем различать так называемые "жесткие" и "мягкие" проблемы распознавания, в основном, по используемым критериям распознавания. Исследование "жестких" проблем распознавания обычно опирается на категории: "распознавание", "формирование рекомендаций", "оптимизация", "реализация сформированных рекомендаций", "функция цели распознавания" и другие. Для "мягких" проблем используются чаще категории: "возможность", "желательность", "адаптируемость", "здравый смысл", "рациональность" и другие. Методы также различны: для "жестких" проблем распознавания- методы оптимизации, теория вероятностей и математическая статистика, теория игр и другие; для "мягких" проблем распознавания - многокритериальная оптимизация и принятие решений (часто в условиях неопределенности), метод Дельфи, теория катастроф, нечеткие множества и нечеткая логика, эвристическое программирование и др.

2.10. Классификация истин

2.10.1. Проблема построения классификации истин

Классификация распознаваемых истин представляет собой исключительно сложную проблему, которая еще не разрешена в теории истин и информации. Причин несколько. Наиболее существенная из них заключается в том, что конкретных разновидностей распознаваемых истин столь много, что создается ощущение их полного совпадения со всеми типами имеющихся истин. Другая причина состоит в абстрактности понимания самой распознаваемой истины. Сказывается также и то обстоятельство, что до сих пор не выработаны общие параметры, характеризующие распознаваемую истину.

Заметим, что с развитием различных наук и практики обостряется необходимость разработки *сущностной (истинностной) классификации* распознаваемых истин. Важнейшее требование к научной классификации распознаваемых истин — обоснованность ее оснований, которые должны получить концептуальное обоснование. Сама классификация распознаваемых истин, как некоторая умозрительная система, должна удовлетворять требованиям достаточности оснований и охвата совокупности имеющихся и возможных распознаваемых истин. Таким образом, лучшая классификация, подобно периодической системе элементов Д. И. Менделеева, должна помочь предсказать появление или открытие принципиально новых распознаваемых истин.

Самое важное назначение классификации — *описание свойств ее классов и подклассов, видов и подвидов распознаваемых истин*, что позволяет использовать ее для распознавания конкретных истин, с которыми сталкиваются субъекты в тех или иных областях деятельности.

Существуют самые разнообразные подходы к классификации распознаваемых истин. Авторы анализирует классификации видов, представленных на рис. 1.



Рис. 1. Виды классификаций распознаваемых истин

Предметная классификация строится на основе выделения всех видов конкретных распознаваемых истин. Такова, например, приведенная в табл. 1 классификация, которая представляет собой матрицу.

Таблица 1

Расознаваемые объекты	Простые	Сложные	Очень сложные
Детерминированные			
Вероятностные			

В клетки данной матрицы заносятся конкретные разновидности существующих распознаваемых истин (стол, стул и др. — простая

детерминированная распознаваемая истина, а общегосударственное объединение — вероятностный очень сложная распознаваемая истина). *Категориальные классификации* выделяют распознаваемые истины по некоторым признакам, общим для всех распознаваемых истин. Такой подход может быть реализован на основе определения понятия распознаваемая истина в триаде " распознаваемая истина" — "свойство" — "отношение" (табл. 2)

Таблица 2

Классификация распознаваемых истин

Категориальные характеристики	Компоненты распознаваемой истины		
	Свойства	Элементы	Отношения
Моно			
Поли			
Статические			
Динамические (функционирующие)			
Динамические (развивающиеся)			
Детерминистские			
Случайные			
Простые			
Сложные			

Отсюда выделяем такие типы распознаваемых истин:

- монофункциональная детерминистская простая (стол, стул);
- монофункциональная случайная простая (расознаваемая истина, функционирующая при наличии помех);
- монофункциональная вероятностная сложная (расознаваемая истина с обилием и большой сложностью случайных факторов);
- моноразвивающаяся детерминированная простая;
- моноразвивающаяся вероятностная простая;
- моноразвивающаяся вероятностная сложная;
- полифункциональная детерминированная простая;
- полифункциональная детерминированная сложная;
- полифункциональная вероятностная простая;
- полифункциональная вероятностная сложная;
- полиразвивающаяся детерминированная простая;
- полиразвивающаяся детерминированная сложная;

- полиразвивающаяся вероятностная простая;
- полиразвивающаяся вероятностная сложная.

Сущностная классификация распознаваемых истин

В основу любой классификации должна быть положена концепция, объясняющая классифицируемые явления. Как мы уже говорили, *классификация представляет собой многоступенчатое, разветвленное деление логического объема понятия*. В результате создается система соподчиненных понятий: *делимое понятие — род, новые понятия — виды, виды видов (подвиды) и т.д.* *Концептуальный подход к классификации делает ее сущностной* (рис. 2).

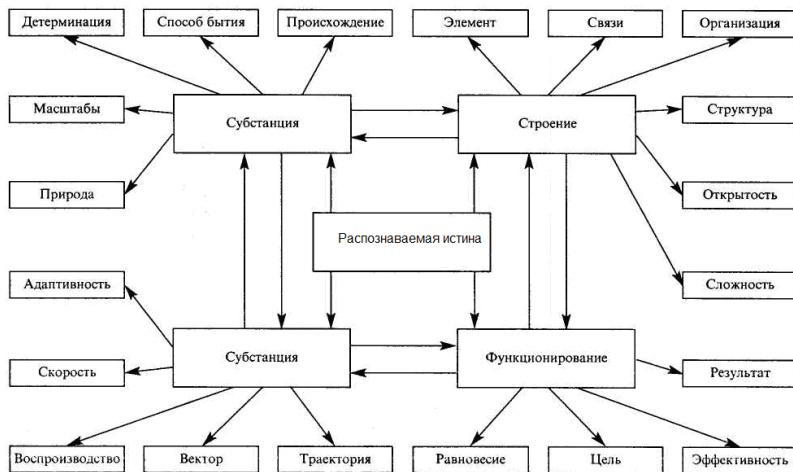


Рис. 2. Интерпретация основных составляющих распознаваемой истины

Для построения сущностной классификации распознаваемых истин к ним нужно подходить с системных позиций. По нашему мнению, любая распознаваемая истина характеризуется четырьмя основными параметрами: *субстанцией, строением, функционированием и развитием*.

При этом под *субстанцией* понимается сущностное свойство истины как целостности, основание и центр всех ее изменений, активную их причину и источник функционирования. Под *строением* распознаваемой истины подразумевается наличие в распознаваемой истины элементов, связей и организации. *Функционирование* рассматривается как процесс реализации

распознаваемой истиной своих функций, а *развитие* — как процесс качественных изменений распознаваемой истины. Тогда **распознаваемая истина** — это *структурно-функциональная развивающаяся субстанциональная целостность*.

Каждая из четырех составляющих сущностной (истиностной) характеристики распознаваемой истины может быть представлена совокупностями основополагающих параметров, соответствующих их природе. Так, **субстанция** может быть представлена *природой распознаваемых истин, их сложностью, масштабами, детерминацией, происхождением и способом бытия (функционирования)*. Для **строения** свойственны *элементы, связи, организация, структура и сложность*. **Функционирование** выражается *равновесием, целью, результатом и эффективностью*. **Развитие** характеризуется *адаптивностью, скоростью, воспроизводством, вектором и траекторией*.

На основании выделенных параметров можно создать классификацию распознаваемой истины на *субстанциональном уровне, уровнях строения, функционирования и развития* (табл. 3).

Таблица 3

Классификация распознаваемых истин

Основание классификации	Распознаваемая истина	
	Вид	Характеристика
<i>Субстанциональный уровень распознаваемой истины</i>		
Природа распознаваемой истины	Физический	Совокупность физических элементов, интегрированных на физических законах (поезд, мост, космические объекты)
	Технический	Совокупность взаимосвязанных деталей технических систем (станок, конвейер, техническое устройство)
	Кибернетический	Множество взаимосвязанных объектов, способных воспринимать, запоминать и перерабатывать информацию, а также обмениваться информацией (автопилот, регулятор температуры в холодильнике, ЭВМ, человеческий мозг, живой организм, биологическая популяция, человеческое общество)
	Химический	Множество элементов, взаимосвязанных химическими связями (молекула, химическое соединение)
	Биологический	Организмы или их сообщества (растение, животное)

	Социальный	Общество или некоторая его составляющая, развивающаяся как целое (государство, экономика, законодательство)
	Интеллектуальный	Знания, способы познания и мышления (методы научного познания, математика)
Способ существования распознаваемой истины	Абстрактный	Единство некоторых символов или знаков (теория, система исчисления)
	Материальный	Совокупность материальных явлений (город, горная система)
Характер детерминированности	Стохастический	Поведение носит вероятностный характер (ценообразование, игра)
	Детерминированный	Поведение предопределено (падение предметов)
Происхождение распознаваемой истины	Естественный	Возникает и развивается естественно, без вмешательства человека
	Искусственный	Возникает и развивается благодаря человеку
	Естественно-искусственный	Возникает и развивается естественно и путем вмешательства человека
Масштабы	Микромасштабный	Относительно небольшое образование (малая или контактная группа, вирусы)
	Макромасштабный	Значительное по размеру образование
	Метаобъект	Сверхбольшое образование (общество, планета)
	Мегаобъект	Бесконечное по размеру образование (Вселенная)

Уровень строения распознаваемой истины

Количество элементов	Одноклеточный	Состоит из одного элемента (Земля, клетка)
	Бинарный	Состоит из двух элементов (Земля — Луна)

Степень открытости	Триарный	Состоит из трех элементов (системы треугольники)
	Четырех-элементный	Состоит из четырех элементов (футбольное поле)
	Много-элементный	Состоит из многих элементов (план города)
	Открытый	Открытый для воздействия внешней среды (демократическое общество)
Характер взаимодействия элементов	Закрытый	Закрытый для воздействия внешней среды (тоталитарное общество)
	Координационный	Элементы отличаются равноправием (дружба, отделы одного уровня в системе управления)
Степень организованности	Иерархический	Элементы соподчинены (система управления)
	Координационно-иерархический	Объединяет равноправные и неравноправные элементы (общество)
	Слабо организованный объект или хаос-объект	Переходная экономика, реорганизуемое предприятие, кризис
	Суммативная	Неразвитое взаимодействие между элементами (империя Александра Македонского)
Степень сложности	Организованная	Выраженные организационными структурами (правительство, предприятие)
	Заорганизованная	Однозначно предопределенное поведение элементов (армия, тюрьма)
	Простой	Состоит из небольшого числа элементов и связей между ними (телефонный абонент)
	Сложный	Включает в себя большое число простых систем (телефонная станция)
	Сверхслож-	

	ный	Включает в себя большое число сложных систем (телефонная связь)
Тип структуры	Линейная	Линейная структура взаимосвязи элементов (цепь, участок метро)
	Сотовая	Разветвленные связи, множество путей прохождения информации (связь)
	Иерархическая	Соподчинение элементов (власть)
	Смешанная	Наличие всех типов структуры (предприятие)
Наличие информации о строении распознаваемой истины	«Черный ящик»	С неизвестным строением
	«Серый ящик»	С наличием некоторой информации о ее строении
	«Белый ящик»	С известным строением
<i>Уровни функционирования распознаваемой истины</i>		
Характер воспроизводства	Воспроизводимый окружающей средой	Последствия любых действий
	Воспроизводящий себе подобного	Животные, растения
Количество функций	Многофункциональный	Реализация одной функции (контроль)
	Полифункциональный	Реализация одновременно нескольких функций (система управления)
Характер размещения	Плоскостной	Размещена в плоскости (земельный участок)
	Пространственный	Городская среда
Равновесие	Многомерный	Социальная технология
	Равновесный	Сохранение равновесия (рынок)
	Неравновесный	Нарушение равновесия (конфликт)
Цель	Одноцелевой	Ориентирован на достижение одной цели (система обслуживания)
	Многоцеле-	Направлен на достижение

	вой	нескольких	целей
		(многопрофильная организация)	
Эффектив-	Неэффектив-	Отличается	низкой
ность	ный	эффективностью	(погрузка
		неподготовленными грузчиками)	
	Средней	Достаточно	выраженная
	эффектив-	эффективность	(профессиональные
	ности	грузчики)	
	Эффективный	Со значительной эффективностью	
		(автопогрузчик)	
Результат	С нулевым	Не имеет результата	(пассивный
	результатом	объект)	
	Результативный	Отличается результативностью	
		(активный объект)	
	С высоким	Высокий	синергетический
	результатом	результат	(промышленный робот)

Уровень развития распознаваемой истины

Способность	Адаптивный	Способность приспособляться, не	
приспосабли-	Неадаптив-	теряя своей идентичности	
ваться	ный	(перенастраиваемый на различные	
		классы проблем)	
		Не обладает способностью	
		приспособляться	
		(неперенастраиваемый на	
		различные классы проблем)	
Способность	Статический	Статические, неменяющиеся	
к движе-		образования (скала, здание)	
нию (скорость)	Динамиче-	Характеризуется изменением	
	ский	положения местонахождения	
		(промышленный робот)	
Вектор	Восходяще-	Свойственен рост показателей	
развития	го развития	развития с той или иной скоростью	
		(экономика периода подъема,	
		политики с нарастающими	
		рейтингами)	
	Нисходящий	Присуще падение показателей	
		развития с той или иной скоростью	
		(экономика в период кризиса,	
		политики с падающей поддержкой	
		электората)	
	Стабильный	Свойственно	сохранение

		показателей (объекты устойчивого развития)
Способность самовоспроизводства	Неорганическая	Неспособность к самовоспроизводству (механические, технические объекты)
	Органическая	Способность к самовоспроизводству (живые организмы)
Этап развития	Зародыш	Находится на стадии возникновения (зародыши)
	Детский	На стадии становления (ребенок, новое государство)
	Молодой	В процессе достижения зрелости (молодежь, молодое государство)
	Зрелый	Соответствует всем качествам зрелости (развитое государство)
	Кризисный	В процессе падения показателей, разрушения и перестройки (кризисная экономика)
	Переходной	Переходит из одного состояния в другое (реконструируемая организация)
Траектория развития	Деградирующая	Доминирование процессов ухудшения показателей и разрушения (банкротная организация)
	Линейная	Подчиняется линейной функции развития (линейные зависимости)
	Нелинейная	Подчиняется нелинейным функциям развития (население планеты)

Данная классификация может быть углублена по нескольким направлениям. Во-первых, она представляет собой дерево, ветвями которого выступают выделенные по основаниям виды распознаваемых истин. Отсюда каждую конкретную разновидность распознаваемых истин можно представить посредством фиксации ее характеристик по каждому срезу и основанию. Например, кибернетический объект — множество взаимосвязанных объектов (элементов распознаваемого объекта), способных воспринимать, запоминать и перерабатывать

информацию, а также обмениваться информацией. Распознаваемый объект включает также связи между элементами. Элементы и связи между ними могут обладать свойствами (показателями), каждое из которых принимает некоторое множество значений. Примеры кибернетических объектов: автопилот, компьютер, человеческий мозг, человеческое общество и др. Кибернетические объекты по степени сложности различают: простые, сложные и сверхсложные. Некоторые из них могут быть детерминированными, а некоторые – стохастическими. Отсюда получим, например, такую классификацию кибернетических объектов.

- простые детерминированные объекты: холодильник с регулятором, размещение станков в цехе, система автобусных маршрутов, семейный бюджет, расписание занятий факультета,
- сложные детерминированные объекты: ЭВМ, цветной телевизор, сборочный конвейер,
- сверхсложные детерминированные объекты: шахматы,
- простые вероятностные объекты: лотерея, система статистического контроля продукции на предприятии,
- сложные вероятностные объекты: материально-технического снабжения на предприятии; диспетчеризации движения самолетов вблизи крупного аэропорта, система диспетчеризации транспортной системы страны;
- сверхсложные вероятностные объекты: предприятие в целом, включая все его технические, экономические, административные, социальные характеристики; общество; человеческий мозг.

Второй путь углубления классификации заключается в поисках подвидов по каждому виду. Можно выделить несколько разновидностей распознаваемых истин по типу нелинейной функции или в качестве разновидностей кибернетических объектов можно представить, например, системы по принципу "черного ящика" и системы по принципу "серого" и "белого ящика".

2.10.2. Характеристика сложных распознаваемых истин

Сложные распознаваемые истины и их специфика

Распознаваемые истины будем классифицировать как простые, сложные и сверхсложные. Особое место среди всех видов распознаваемых истин занимают сложные. К ним относятся распознаваемые истины самой различной природы. Эти распознаваемые истины определяют различные аспекты жизнедеятельности людей. По отношению к сложным распознаваемым

истинам в обществе приходится разрешать три группы распознаваемых ситуаций:

- анализ свойств и поведения распознаваемой истины в зависимости от ее структуры и значения параметров;
- определение структуры и значений параметров исходя из свойств распознаваемой истины;
- функционирование сложных распознаваемых истин.

Сложная распознаваемая истина — распознаваемая истина, которая состоит из элементов разных типов и обладает разнородными связями между ними. Такое деление в известной степени условно. Сложность понимается как объективное, так и субъективное явление. Объективная сложность присуща распознаваемым истинам независимо от познающего их субъекта, субъективная обусловлена характером восприятия распознаваемой истины субъектом, зависит от недостаточности знаний и интеллекта. Эти два типа сложности тесно взаимодействуют друг с другом, особенно тогда, когда та или иная распознаваемая истина только включается в процесс распознавания. Но базисной основой выступает объективная сложность распознаваемой истины.

Установление сложности той или иной распознаваемой истины имеет исключительно важное значение для теории и практики. В теории истин и информации будем выделять *четыре подхода к пониманию сложных распознаваемых истин*.

Согласно *первому* подходу сложные распознаваемые истины представляет собой распознаваемые истины с плохой организацией. К ним относят так называемые диффузные, с большим количеством переменных, между которыми нельзя установить перегородки, разграничивающие компоненты. В них постоянно идут диффузные процессы. Это свойственно инновационным диффузиям в технико-экономических распознаваемых объектах. Сложными будем считать также распознаваемые истины, функции которых зависят от окружающей среды. Последняя постоянно воздействует на распознаваемые истины. Поэтому эти распознаваемые истины напоминают лодку в бурном море, которое и предопределяет сложность ее маршрута в спасительную бухту. Условия существования данных распознаваемых истины являются непредсказуемыми и усложняют их жизнь. К сложным распознаваемым истинам относятся распознаваемые истины, имеющие большое число связей, их значительное разнообразие, много автономных подорганизаций и иерархичность строения.

При *втором* подходе под сложными будем понимать такие распознаваемые истины, которые не могут быть точно математически описаны (здесь проявляется познавательный, гносеологический и даже

инструментарный аспект сложности), но он имеет под собой и объективный, онтологический срез, поскольку описанию не поддаются вариативные, стохастические многоуровневые распознаваемые истины. Недостаток подхода в том, что мир сложных распознаваемых истин оказывается очень большим, ибо строго математически описанных распознаваемых истин очень мало. Для математического моделирования значительного числа этих распознаваемых истин нет достаточного и необходимого инструментария.

При *третьем* подходе сложными считаются распознаваемые истины целенаправленного поведения, т.е. социальные. В этом случае сложные распознаваемые истины совпадают с человеком, его социальной организацией, что не всегда оправданно, ибо сложность не тождественна целенаправленности.

При *четвертом* подходе сложность трактуется с позиции теории множеств как элемент того множества, где он выступает как множество. Здесь сложность отождествляется с понятием "много", которое применяется к элементам, структурам, свойствам, функциям и т.д.

Сложные распознаваемые истины характеризуются и тем, что они одновременно интегрируют в себе природные и социальные составляющие, естественное и искусственное. Сложные распознаваемые истины очень многообразны и многолики. Для них свойственно наличие большого количества элементов и связей, их разнообразие, автономия подструктур, наличие иерархии, диффузия, невозможность точно описывать распознаваемую истину и прогнозировать ее поведение и т. д.

Будем выделять следующие характеристики сложных распознаваемых истин: наличие большого числа взаимно связанных и взаимодействующих между собой элементов; сложность функций, выполняемых распознаваемой истиной, и направлений на достижение заданных целей функционирования; возможность разбиения распознаваемой истины на подобъекты, цели функционирования которых подчинены общей цели распознаваемой истины; наличие управления (часто имеющего иерархическую структуру), разветвленной информационной сети и интенсивных потоков информации; наличие взаимодействия с внешней средой и функционирования в условиях случайных факторов.

Сложные распознаваемые истины описываются средними, случайными величинами (надежность, помехозащищенность, качество управления, вероятность отказа, эффективность, устойчивость функционирования).

Если попытаться интерпретировать сложность истины в аспекте системности, то ее можно представить следующей формулой: *Сложность истины = Сложность состава + Сложность организации*. В свою очередь, сложность состава опишем так:

*Сложность состава = Субстратная + Параметрическая +
+ Динамическая + Генетическая,*

где субстратная сложность складывается из сложности компонентов, подистин и уровней истин; параметрическая сложность включает сложность субстратных свойств, интегральных свойств и сложность связей и отношений; динамическая сложность интегрирует в себе сложность состояний, стадий, фаз и переходных процессов; генетическая или эволюционная сложность включает генетику состояний, стадий фаз, уровней развития и т.п.

Таким образом, сложность распознаваемых истин представляется интегральным показателем, который в каждом конкретном случае нуждается в анализе.

Классификация сложных распознаваемых истин

Несмотря на то что теория истин и информации формулирует признаки сложных распознаваемых истин, проблема их классификации пока не разрешена, что связано, во-первых, с нечеткостью самих признаков сложных распознаваемых истин, во-вторых, — с субъективным аспектом понимания сложности. Отсюда становится весьма затруднительным выделение оснований классификации потому, что в классификацию придется включать и простые распознаваемые истины. А это может привести к тому, что классификация сложных распознаваемых истин в своей завершенной форме совпадет с классификацией распознаваемых истин вообще. Учитывая эти обстоятельства, попытаемся интерпретировать понятие "сложность" в некоторые эмпирические основания для выделения отдельных классов распознаваемых истин.

На практике определить, является ли данная распознаваемая истина объективно сложно, ибо мы не знаем о ней тех сведений, которые уже получены наукой. Причем оценки могут быть весьма противоречивыми. Рассмотрим табл. 1, где формально представлены оценки распознаваемым истинам условными простыми экспертами, которые имеют одно мнение относительно одного состояния распознаваемой истины.

Таблица 1

Оценка распознаваемых истин с точки зрения объективной и субъективной сложности

Состояния	Эксперты			
	Объективная простота	Объективная сложность	Субъективная простота	Субъективная сложность
Объективная простота		Объективная простота – объективная сложность	Объективная простота – субъективная простота	Объективная простота – субъективная сложность
Объективная сложность	Объективная сложность – объективная простота		Объективная сложность – субъективная простота	Объективная сложность – субъективная сложность
Субъективная простота	Субъективная простота – объективная простота	Субъективная простота – объективная сложность		Субъективная простота – субъективная сложность
Субъективная сложность	Субъективная сложность – объективная простота	Субъективная сложность – объективная сложность	Субъективная сложность – субъективная простота	

Из табл. 1 следует, что бывают распознаваемые истины, которые однозначно оцениваются соответственно как объективно и субъективно простые и сложные. Объективная простота здесь совпадает с субъективной простотой, а объективная сложность — с субъективной сложностью. К ним относятся:

- объективно простые и субъективно простые распознаваемые истины. Их можно считать однозначно простыми;
- объективно сложные и субъективно сложные распознаваемые истины, которые выступают как однозначно сложные.

Но могут быть такие распознаваемые истины, которые получают противоречивые оценки. Квалифицируем их:

- распознаваемая истина, оцениваемая "*Объективная сложность — объективная простота*". Причина такой оценки — в непонимании распознаваемой истины;

- распознаваемая истина, оцениваемая "*Субъективная сложность — объективная простота*" — плохо понимаемый простая распознаваемая истина, которая не имеет интерпретации;
- распознаваемая истина, оцениваемая "*Объективная простота — объективна» сложность*" — непонимание распознаваемого объекта;
- распознаваемая истина, оцениваемая "*Субъективная простота — объективная сложность*" — упрощенное восприятие сложной распознаваемой истины;
- распознаваемая истина, оцениваемая "*Субъективная сложность — субъективная простота*" — восприятие простой истины как сложной;
- распознаваемая истина, оцениваемая "*Объективная простота — субъективная сложность*" — восприятие объективно простой распознаваемой истины как сложной;
- распознаваемая истина, оцениваемая "*Субъективная простота — субъективная сложность*" — непонимание распознаваемой истины.

При наиболее упрощенном подходе получим два типа таких противоречивых распознаваемых истин:

- *объективно простые, но субъективно сложные распознаваемые истины.* Для этих распознаваемых истин свойственно то, что субъекты привыкли к их простоте. Но неожиданно возникает новая, более сложная гипотеза, их объясняющая, которая начинает ставить под сомнение простоту распознаваемой истины;
- *объективно сложные, но субъективно простые распознаваемые истины.* Здесь ситуация характеризуется упрощением сложной распознаваемой истины, которая может быть весьма неприятной в реальной жизни (значительное число аварий техногенных объектов обусловлено упрощенным, некомпетентным управлением ими).

Для того чтобы повысить уровень компетентности в оценке сложности распознаваемых истин, надо применять методы экспертных оценок, которые представляют собой опрос специалистов по той или иной методике, часто с использованием количественных методов.

Таким образом, на основании соотношения объективного и субъективного аспектов сложности выделим, по крайней мере, три типа сложных распознаваемых истин: *объективно и субъективно сложные распознаваемые истины, объективно сложные, но субъективно простые распознаваемые истины и субъективно сложные, но объективно простые распознаваемые истины.*

Сложность распознаваемой истины представляет собой единство сложности состава, структуры, функций, организации, уровня и жизненного пути распознаваемой истины. Причем сложность может

обретать большое многообразие благодаря сочетанию этих параметров. Хотя здесь далеко не во всем действует математика сочетаний. Сложной является распознаваемая истина, совмещающая некоторые параметры схемы (рис. 1).



Рис. 1. Интерпретации сложности распознаваемого объекта

Под сложностью будем понимать свойство элемента, взятого в отношении к тому множеству, где он выступает как множество, а простое — свойство такого множества, которое взято к другому множеству и выступающее в нем как элемент. Исходя из этого определим сложность распознаваемой истины.

Сложность состава сводится к количеству всех элементов распознаваемой истины, сложность структуры может трактоваться как количество подструктур, т. е. расцениваться как *полиструктурность*, сложность организации сводится к сложности всех аспектов организации, а сложность функций — к *полифункциональности*. Отсюда к сложным распознаваемым истинам будем относить *многосоставные*. Состав этих распознаваемых истин выступает в виде большого множества, нередко открытого. А сложными распознаваемыми истинами с точки зрения остальных показателей выступают соответственно *полиструктурные, полифункциональные, сложноорганизованные и многоуровневые распознаваемые объекты*.

Сложность проявляется не только в том, что распознаваемая истина может иметь несколько уровней иерархии, входить в распознаваемые истины с иерархическими структурами, но и в том, что относительно несложная распознаваемая истина будет сложной с точки зрения ее жизненного цикла. Развитие такой распознаваемой истины может быть настолько сложным, что она заслуживает отнесения ее к распознаваемым истинам со сложной динамикой. Сложность жизненного пути распознаваемой истины сводится к неоднозначности

и многообразие жизнеобеспечивающих ее ситуаций. Такую распознаваемую истину будем считать *сложноситуационной*.

К сложным распознаваемым истинам будем относить органические системы, под которыми будем понимать социальные распознаваемые истины. Признаки органической распознаваемой истины:

- сложность этой распознаваемой истины, которая выступает *системой систем*;
- способность распознаваемой истины саморазвиваться, воспроизводить недостающие ей органы, *наличие механизмов воспроизводства самой себя*;
- *многоуровневость и многослойность строения*;
- *наличие хорошо выраженной эволюции*, представляющей собой саморазвитие, самоорганизацию, самоуправление, смену структур, расширение оснований жизнедеятельности;
- *наличие управленческих и самоуправленческих подорганизаций*, которые регулируют поведение и развитие этих распознаваемых истин;
- *наличие и постоянное развитие механизмов взаимодействия с окружающей средой*;
- *выбор распознаваемой истиной предпочтительных ситуаций, траекторий поведения*;
- *высокая и сложная активность* органических распознаваемых истин, обусловленная не только необходимостью удовлетворения потребностей, но и воспроизводства.

Во второй половине XX ст. системный подход к обществу стал одной из ведущих методологических парадигм. Особый интерес в теории истин и информации представляют самоорганизующиеся распознаваемые истины. Наличие этих распознаваемых истин и фактора самоорганизации в них позволяет объяснить развитие мира истин, в котором самоорганизующиеся истины являются довольно распространенными. Они удовлетворяют вполне определенным требованиям.

Во-первых, они отличаются открытостью, что обеспечивает им, с одной стороны, приток энергии извне, а с другой, — спасает от деградации и способствует переходу в новые состояния.

Во-вторых, они достигают состояний критических точек, которые получили название *точек бифуркации*. Особенность этих точек заключается в том, что в них происходит разветвление пути развития истины, на "выбор" которого влияют сложившиеся факторы. Сами критические точки представляют собой неравновесные состояния истины. В них истина долго находиться не может, поэтому переходит в состояние равновесия, оказывающееся качественно новым состоянием

для данной истины. Важно обратить внимание на то, что истина при этом переходит к более высокому уровню упорядоченности.

К сложным распознаваемым истинам относят также динамические распознаваемые истины, которые допускают различные изменения, развитие, возникновение новых и отмирание старых частей и связей между ними. Не все динамические распознаваемые истины следует считать сложными. Динамика распознаваемой истины складывается из двух составляющих: внешнего развития истины и происходящего в ней внутреннего развития. Простые распознаваемые истины характеризуются статичностью, низкой и простой внешней динамикой и практически минимальными внутренними переменами. Сложные распознаваемые истины отличаются высокой внутренней динамикой, что предопределяет усложнение их внешнего функционирования.

2.10.3. Классификация методов распознавания истин

2.10.3.1. Классификация задач распознавания истин

Совокупность задач, возникающих в связи с распознаванием различных истин, разобьем на *два класса*: анализ распознаваемых истин и синтез распознаваемых истин.

При этом *задача анализа* состоит в изучении поведения и свойств распознаваемой истины, если заданы: характеристики внешней среды, структура распознаваемой истины (модель), характеристики распознаваемой истины (численные значения параметров). Часто задачи анализа сводятся к расчету численного значения показателя эффективности функционирования распознаваемой истины.

Задача синтеза заключается в формировании оптимальных в том или ином смысле рекомендаций по совершенствованию структуры распознаваемой истины или внутренних ее параметров при заданных характеристиках внешней среды и с учетом ограничений, накладываемых на процесс распознавания истины. Иногда задача синтеза ставится как задача формирования рекомендаций по совершенствованию структуры распознаваемой истины или ее внутренних параметров, доставляющих заданное значение критерию эффективности.

Из приведенного выше определения ясно, что необходимость решения задач синтеза возникает на этапе формирования рекомендаций по решению задач распознавания истины (формирование рекомендаций по совершенствованию структуры распознаваемой истины) и в процессе ее жизнедеятельности. В этом случае задача синтеза понимается как *задача отыскания оптимального*

управления функционированием распознаваемой истиной и сводится к формированию рекомендаций по расчету ее внутренних параметров, обеспечивающих наибольшую в выбранном смысле эффективность функционирования распознаваемой истины.

Распознавание истины начинается с формулировки **задачи распознавания**, в которой должна быть раскрыта основная цель распознавания и сжато сформулированы основные **условия** (методы) распознавания с учетом которых решается задача.

Следующий этап — *содержательное описание и точная постановка задачи распознавания*. Здесь необходимо четко определить *основное содержание (функционирование) распознаваемой истины, установить границы ее решения, выявить основные факторы, влияющие на процессы распознавания или распознаваемую истину, и определить отношения между ними*. Этот начальный этап распознавания является самым важным, ибо правильное решение задач распознавания любой распознаваемой истины зависит прежде всего от того, насколько верно понято то, что в действительности она (распознаваемая истина) собой представляет и в чем ее сложность.

В результате этого этапа проработки задачи распознавания исследователь должен:

- ясно понимать цель и назначение распознаваемой истины,
- выявить информацию об учитываемых параметрах внешней среды и распознаваемой истины,
- установить совокупность допущений, в рамках которых решается задача распознавания.

Задача распознавания может считаться поставленной точно, если используемая для решения информация является *полной* (достаточной для получения результата) и *непротиворечивой*. На этом же этапе осуществляется выбор **критерия** для оценки эффективности формируемых рекомендаций по решению задач распознавания истины.

Очередным этапом процесса распознавания истины является **формализация задачи**, которая состоит в следующем:

- разрабатывается модель распознаваемой истины;
- осуществляется аналитическое представление выбранного критерия эффективности.

Модель распознаваемой истины, получаемая на этапе формализации, должна обладать следующими свойствами:

- **независимость результатов решения задачи распознавания в соответствии с выработанной моделью от конкретного физического истолкования смысла элементов этой модели; т. е. от физической природы распознаваемой истины, описываемой выработанной моделью;**

— **содержательность**, т. е. способность модели отражать существенные стороны и свойства реального процесса распознавания;

— **дедуктивность**, т. е. возможность конструктивного использования модели для получения результата с использованием средств и методов предметной области распознаваемой истины, в терминах которой формализована задача (построена модель).

При разработке модели необходимо:

- выявить факторы, оказывающие влияние на ход процесса распознавания или его результаты; выбрать те из них, которые поддаются формализованному представлению (т. е. могут быть выражены количественно);

- объединить по возможности выявленные факторы по общим признакам, сократив их перечень;

- установить количественные соотношения между ними.

Разработка модели распознаваемой истины — ответственный этап проработки задачи распознавания. Как правило, требования содержательности и дедуктивности модели противоречивы по своему существу. В самом деле, удовлетворяя требованию содержательности, в модели необходимо учесть как можно точнее возможно большее количество факторов реального процесса распознавания. Но при этом, естественно, модель становится более сложной, что затрудняет ее исследование и получение содержательных результатов. С другой стороны, желание получить результат возможно более простым путем приводит к необходимости упрощения модели, снижая таким образом ее содержательность. Искусство исследователя как раз и состоит в том, чтобы при разработке формальной модели распознаваемой истины добиться разумного компромисса, по замечанию Беллмана, «*между западной переупрощения и болотом переусложнения*», обеспечив возможность получения нетривиальных результатов, не выхолащивая существа реального процесса распознавания.

Не менее важным является *выбор критерия для оценки эффективности распознавания по решению задач распознавания*. В соответствии с основным принципом базовой теории оптимизации критерий выбирается в строгом соответствии с задачей распознавания, которая должна решаться в связи с распознаваемым объектом. В связи с этим совершенно ясно, что для правильного выбора критерия оценки эффективности распознаваемой истины необходимо совершенно четко представлять назначение распознаваемой истины и характер выполняемых ею функций. Правильно выбранный критерий должен быть *количественным; критичным* по отношению к конкретным значениям основных параметров внешней среды и распознаваемой

истины; *эффективным* в статистическом отношении (обладать малой дисперсией); иметь *относительно простое аналитическое выражение*.

Следующий этап процесса распознавания — **исследование разрешимости задачи** — состоит из нескольких подэтапов:

— *исследование принципиальной разрешимости*;

— *выбор метода решения*;

— *исследование технической осуществимости и целесообразности решения задачи выбранным методом*.

При исследовании принципиальной разрешимости необходимо установить, имеются ли среди средств и методов распознавания, в терминах которой построена модель, такие, что при их использовании возможно получение желаемого результата. Если принципиально невозможно получить решение таким образом, необходимо вернуться к этапу формализации задачи или даже к более ранним этапам распознавания, ибо в этом случае модель не удовлетворяет требованиям дедуктивности. **Выбор метода решения задачи распознавания** занимает *принципиальное место в общей схеме проработки задачи* и зависит прежде всего от того, *детерминированной или стохастической* является модель распознаваемой истины.

Модель называют **детерминированной**, если информация о состоянии и поведении распознаваемой истины на некотором интервале позволяет полностью описать поведение распознаваемой истины вне этого интервала. Если же это сделать невозможно, например, в силу того, что некоторые или все параметры распознаваемой истины суть случайные величины, то модель является **стохастической**.

Характер используемой модели распознаваемой истины (т. е. является ли она детерминированной или стохастической) определяется, с одной стороны, *содержанием решаемой задачи распознавания*, а с другой — *требуемой точностью решения*.

Ранее отмечалось, что задачи распознавания мы предложили подразделить на задачи анализа и синтеза. В соответствии с тем, решается ли задача анализа или синтеза, а также является ли модель детерминированной или стохастической, используется соответствующий **математический аппарат**.

Перечень основных математических дисциплин, используемых при решении различных задач распознавания, является достаточно емким. Значительная часть из них (в особенности это относится к методам распознавания детерминированных распознаваемой истины) к настоящему времени представляет собой сложившиеся математические дисциплины, другие же — бурно развивающиеся направления (прежде всего различные методы оптимизации, используемые при решении

задач формирования оптимальных рекомендаций для решения задач распознавания сложных распознаваемых истин и при решении других задач распознавания — математическое программирование, вариационное исчисление, принцип максимума Понтрягина, теория статистических решений, теория игр). *Целесообразно выделить математическое программирование (и его стохастический вариант), представляющее собой совокупность мощных в идейном и вычислительном отношениях методов, которые находят широкое применение при решении задач оптимального формирования рекомендаций по распознаванию истин.*

Возвращаясь к вопросу о выборе метода решения задачи распознавания, необходимо отметить, что если входная информация, исследуемая при решении задачи распознавания, является заведомо неполной и неточной, возникает сомнение в целесообразности использования для решения задачи **точных методов**. Очень часто в условиях неопределенности входной информации получение удовлетворительных результатов обеспечивают **приближенные методы решения**, преимущество которых перед точными состоит в существенно большей простоте реализации. В связи с этим возникает проблема тщательного изучения эффективности приближенных методов решения задач распознавания.

После выбора метода решения задачи распознавания необходимо **исследовать его с точки зрения технической осуществимости**. Проработка этого вопроса ведется на основании информации о технической оснащенности вычислительного процесса. Если количество операций, необходимых для проведения вычислительной процедуры, оказывается столь большим, что осуществить ее имеющимися вычислительными средствами в приемлемое время невозможно, то нужно вернуться к одному из более ранних этапов проработки задачи.

Далее рассматривается вопрос о **целесообразности решения**. Решение задачи распознавания нецелесообразно, если результат решения устаревает к моменту его получения и его использование не имеет смысла.

Очередной этап — **разработка алгоритма решения задачи распознавания**.

Как известно, алгоритм представляет собой конечный упорядоченный набор точных правил, указывающих, какие действия и в каком порядке необходимо выполнить, чтобы после конечного числа шагов получить решение.

Следующий этап — *реализация разработанного алгоритма*. На этом этапе разработанный, удовлетворяющий требованиям алгоритм программно реализуется на цифровой вычислительной машине.

После выполнения алгоритма приступают к *анализу полученных результатов*. На этом этапе легче всего вскрываются недостатки проработки задачи распознавания на всех предшествующих этапах. Если полученные результаты удовлетворяют предъявляемым требованиям, то переходят к этапу *использования результатов*; если же результаты неудовлетворительны, то следует возвратиться к одному из предыдущих этапов проработки.

Заключительный этап — *использование результатов решения задачи распознавания* — не требует пояснений..

Изложенная схема процесса распознавания может быть использована практически при решении большого количества разнообразных задач распознавания.

Для решения задач распознавания может быть использован общий подход распознавания истин, изложенный выше. Однако этот общий подход может быть реализован различно в зависимости от конкретной задачи распознавания.

Рассмотрим *совокупность методов, которые рекомендуется использовать для решения задач распознавания*.

2.10.3.2. Метод микроподхода

Применение этого метода сводится к исследованию отдельных элементов (ячеек), из совокупности которых состоит распознаваемая истина. Выбор этих элементарных ячеек неоднозначен и определяется *задачами распознавания и распознаваемой истиной*. При использовании микроподхода *изучается структура каждого из выделенных элементов распознаваемой истины, их функций, совокупность и диапазон возможных изменений параметров*, после чего предпринимается попытка понять процесс функционирования распознаваемой истины в целом.

Задачи микроподхода состоят, таким образом, в следующем:

- *выявление элементов распознаваемой истины;*
- *изучение структуры выделенных элементов;*
- *раскрытие функций каждого из элементов;*
- *выявление связей между элементами.*

Важно отметить, что возможности микроподхода в отношении исчерпывающего исследования сложных распознаваемых истин ограничены в силу следующего обстоятельства. Практическая реализация наиболее важного этапа микроподхода — выявление

элементов распознаваемой истины — сопряжена с необходимостью преодоления противоречия между желанием возможно более детального изучения каждого из элементов распознаваемой истины и реальными возможностями установить при этом структуру распознаваемой истины в целом и характер ее функционирования.

2.10.3.3. Метод макроподхода

При макроподходе сложная распознаваемая истина рассматривается как «черный ящик», внутреннее строение которого неизвестно. Такая ситуация имеет место, например, при распознавании недоступных истин (например, определение состояния истины в текущий момент времени) или распознаваемых истин, строение которых изучено недостаточно полно (например, в биологии).

Сущность макроподхода определяется специфическими особенностями сложных распознаваемых истин. Выше отмечалось, что сложная распознаваемая истина представляет собой **объект дискретной природы**, состоящий из большого числа элементов. Отсюда следует, что сложная распознаваемая истина может рассматриваться не только как объект, имеющий микроструктуру, но и как **объект макроскопический**. В процессе макроподхода исследователь имеет возможность, воздействуя различным образом на вход распознаваемой истины, анализировать ее реакцию на соответствующие входные воздействия. Чем больше разнообразных воздействий поступает на вход распознаваемой истины, тем детальнее можно распознать природу распознаваемой истины. При этом мощность множества входных воздействий принципиальным образом связана с разнообразием состояний выходов распознаваемой истины. Если на каждую новую комбинацию входных воздействий распознаваемая истина реагирует непрогнозируемым образом, распознавание истины необходимо продолжать. Успешно справиться с разнообразием выходов распознаваемой истины можно только при помощи разнообразия входов.

Итак, метод «черного ящика» состоит в том, чтобы выявить, насколько это возможно, *структуру распознаваемой истины и принципы ее функционирования*, наблюдая только ее входы и выходы. Однако имеется определенный предел информации, которая может быть получена при использовании макроподхода. Иными словами, если на основании имеющихся данных может быть распознана истина, с достаточной точностью повторяющий поведение истины на всем множестве, использованных входных воздействий, задачу макроподхода можно считать решенной. Но создание аналога

«черного ящика», конечно, не означает, что процесс распознавания истины проведен до конца. Безусловно, невозможно распознать все мыслимые воздействия и установить все мыслимые связи между входами и выходами. В процессе макроподхода исследователь сознательно ограничивается анализом поведения распознаваемой истины лишь на множестве интересующих его воздействий, т. е. лишь в тех ситуациях, реакция истины в которых представляет практическую важность для решения задач распознавания.

При использовании макроподхода для распознавания сложных распознаваемых истин необходимо учитывать ряд важных обстоятельств:

— *при исследовании многих реальных распознаваемых истин стоимость каждого эксперимента по распознаванию может быть столь высока, что их число не может быть слишком большим;*

— *измерение любой экспериментальной величины всегда осуществляется при воздействии помех, в силу чего результат распознавания — случайная величина;*

— *условия проведения эксперимента по распознаванию могут меняться от одного эксперимента к другому (например, может изменяться дисперсия ошибки измерений, т. е. случайный шум, накладывающийся на измерения, может быть нестационарным);*

— *общее количество экспериментов распознавания может ограничиваться не только стоимостью, но и какими-либо другими факторами (например, пропускной способностью системы измерений и ограниченностью допустимого интервала измерений).*

В этих условиях весьма актуальной становится проблема извлечения наибольшего количества информации о распознаваемой истине с использованием ограниченного числа экспериментов распознавания. В связи с этим возникает необходимость разработки принципов оптимальной организации экспериментов распознавания (или более кратко — планирования экспериментов). С математической точки зрения задачу планирования экспериментов распознавания можно ставить следующим образом.

Пусть измеряемая величина y зависит от численного значения одного или нескольких факторов, которые будем называть *контролируемыми переменными*. Каждому набору указанных величин сопоставим вектор-столбец

$$\mathbf{X}(\mathbf{U}) = \begin{bmatrix} x_1(\mathbf{U}) \\ x_2(\mathbf{U}) \\ \dots \\ x_k(\mathbf{U}) \end{bmatrix},$$

координаты которого $x_1(\mathbf{U}), x_2(\mathbf{U}), \dots, x_k(\mathbf{U})$ равны значениям контролируемых переменных распознавания. Вектор \mathbf{U} характеризует условия, в которых проводится измерение контролируемых переменных распознавания (например, момент времени проведения измерения, дисперсию ошибки измерений).

Задачей эксперимента распознавания по построению математической модели распознаваемой истины является *выявление и аналитическое описание связей между измеряемыми переменными*. Так как результаты наблюдений — случайные величины, в большинстве случаев задача сводится к установлению связи между средними значениями исследуемых и контролируемых переменных распознавания.

Опишем эту связь некоторой функцией

$$E(y | \mathbf{X}(\mathbf{U})) = \eta(\mathbf{X}(\mathbf{U}), \Theta),$$

где $E(y | \mathbf{X}(\mathbf{U}))$ — среднее значение исследуемой величины при значениях контролируемых переменных, определяемых координатами вектора $\mathbf{X}(\mathbf{U})$; $\eta(\mathbf{X}(\mathbf{U}), \Theta)$ — неизвестная в общем случае функция (ее будем называть *функцией отклика*), численное значение которой зависит от набора неизвестных параметров $\Theta = (v_1, v_2, \dots, v_m)$.

Степень информированности относительно функции $\eta(\mathbf{X}(\mathbf{U}), \Theta)$ может быть различной. Наибольший интерес представляют два крайних случая.

1. Функция $\eta(\mathbf{X}(\mathbf{U}), \Theta)$ известна. При этом требуется получить оценки неизвестных параметров

$$\Theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_m \end{bmatrix}.$$

2. Функция $\eta(\mathbf{X}(\mathbf{U}), \Theta)$ не известна. Известно лишь, что эта функция может быть аппроксимирована конечным рядом по некоторой системе наперед заданных функций. Требуется найти наилучшее описание функции $\eta(\mathbf{X}(\mathbf{U}), \Theta)$.

В этих условиях задача планирования эксперимента распознавания сводится к получению ответов на следующие вопросы:

- 1) сколько экспериментов следует осуществить;
- 2) при каких условиях целесообразно проводить каждый эксперимент (например, в какие моменты времени из заданного допустимого интервала наблюдений).

Результатом решения задачи распознавания является *установление размерности и компонент вектора U для конкретного эксперимента либо выявление стратегии формирования вектора U для некоторого класса однотипных экспериментов.*

После этого переходят к отысканию функции $\eta(X(U), \Theta)$. При этом рекомендуется использовать хорошо разработанный аппарат математической статистики, в частности, метод наименьших квадратов (или различные его модификации).

Макроподход позволяет **решить следующие задачи распознавания:**

- *выявить макрофункцию распознаваемой истины как отображения множества входных воздействий на множество реакций распознаваемой истины, т. е. найти функцию $\eta(X(U), \Theta)$,*
- *изучить целевое назначение распознаваемой истины,*
- *исследовать коды входной и выходной информации,*
- *исследовать связи распознаваемой истины с другими распознаваемыми истинами в процессе ее функционирования.*

Реализацией макроподхода при решении задач оценки эффективности распознавания сложных распознаваемых истин является проведение натурального эксперимента. В процессе натуральных испытаний распознаваемой истины в принципе имеется возможность изучить ее поведение в различных условиях функционирования и таким образом оценить эффективность методов распознавания, используемых при решении задачи распознавания.

Однако практические возможности использования этого метода часто ограничены трудностью, а иногда и невозможностью воспроизведения в натурном эксперименте условий функционирования распознаваемой истины, близких к реальному.

Знание целевого назначения распознаваемой истины и ее макрофункций позволяет продолжить процесс распознавания истины путем исследования ее **модели**. **Модель** как «заместитель» распознаваемой истины должна *сохранять все существенное, типичное, что присуще распознаваемой истине, т. е. должна быть в некотором смысле аналогична оригиналу.*

Эта аналогия (сходство) между распознаваемыми истинами может проявляться на уровне *идентичности макрофункции, на уровне*

идентичности структуры и макрофункции, на уровне идентичности элементов, структуры и макрофункции. В последнем случае можно говорить о **тождестве (адекватности) модели и оригинала.** Изучение модели, тождественной оригиналу, не дает никаких преимуществ перед изучением собственно распознаваемой истины, поэтому такую модель и не следует стремиться получить.

Если модель идентична распознаваемой истине с точностью до *структуры*, она называется *изоморфной* оригиналу. Для изоморфных распознаваемых истин имеет место взаимнооднозначное соответствие макрофункции. Изучение изоморфной модели может дать полное представление о распознаваемой истине. Вместе с тем понятно, что получение такой модели возможно лишь при наличии, исчерпывающей информации о структуре распознаваемой истины. В тех случаях, когда эта информация отсутствует или является неполной, в целях распознавания истины может быть использована ее *упрощенная модель, макрофункция которой совпадает с макрофункцией распознаваемой истины лишь на некотором фиксированном множестве входных воздействий.* В этом случае будем говорить, что модель *гомоморфна* распознаваемой истины.

В процессе распознавания истины с помощью моделей используется *физическое либо математическое моделирование.*

2.10.3.4. Метод физического моделирования

Физическое моделирование осуществляется путем воспроизведения распознаваемых истин на моделях, имеющих в общем случае отличную от оригиналов природу, но одинаковое математическое описание их функционирования. При этом физические процессы, протекающие в модели и оригинале, являются подобными. Физическое моделирование позволяет провести исследование процессов распознавания истин, непосредственный анализ которых затруднен или невозможен. Использование физической модели позволяет определить влияние различных параметров на протекание процессов распознавания, уточнить структуру распознаваемой истины. Физические процессы в сложных распознаваемых истинах, как правило, *описываются совокупностью дифференциальных (или интегродифференциальных) уравнений,* включающих большое число переменных, непосредственную связь между которыми установить аналитически трудно, а иногда и невозможно. Метод физического моделирования позволяет преодолеть эти трудности путем выбора в качестве модели такого объекта, в котором зависимость между различными параметрами можно обнаружить непосредственными

измерениями. Кроме того, физическое моделирование часто позволяет иллюстрировать сложную истину и распознать ее при помощи явлений более простых и наглядных, облегчая тем самым распознавание оригинала.

2.10.3.5. Метод математического моделирования

Математическое моделирование состоит в использовании для исследования распознаваемой истины *совокупности математических соотношений (формул, уравнений, неравенств, логических условий, операторов и т. д.), определяющих структуру распознаваемой истины и описывающих ее поведение. Математическая модель* распознаваемой истины является *абстрактным, формально описанным объектом*, распознавание которого возможно математическими методами. Сложность и многообразие процессов функционирования распознаваемой истины не позволяют строить для них абсолютно адекватные математические модели. Формализованная математическая модель отображает лишь наиболее существенные закономерности процесса распознавания истин, оставляя в стороне второстепенные детали. Эта формализованная модель должна обладать уже обсуждавшимися ранее свойствами: *независимостью результатов распознавания от конкретного физического истолкования смысла элементов модели, содержательностью, дедуктивностью.*

Математическая модель распознаваемой истины, как правило, должна содержать:

- описание множества возможных состояний распознаваемой истины;
- описание закона, в соответствии с которым распознаваемая истина переходит из одного состояния в другое.

Множество возможных состояний распознаваемой истины будем называть *пространством состояний* распознаваемой истины. Оно, может быть *непрерывным или дискретным*. Каждое состояние может быть охарактеризовано *численным значением одного или нескольких параметров* распознаваемой истины. В соответствии с этим пространство состояний будем называть *скалярным или векторным*.

Закон, в соответствии с которым распознаваемая истина переходит из одного состояния в другое (его будем называть *функцией переходов*, или — *оператором переходов*), может иметь различный характер в зависимости от того, непрерывным или дискретным является пространство состояний, *детерминированным* или *стохастическим* является процесс распознавания истины.

Успешность решения задач распознавания истин зависит, в первую очередь, от сложности аналитического описания поведения распознаваемой истины. В соответствии с этим возможны следующие основные способы использования математических моделей для распознавания истин:

- *аналитическое распознавание,*
- *распознавание с помощью численных методов,*
- *аппаратурное моделирование или моделирование на аналоговых машинах,*
- *моделирование на цифровых вычислительных машинах.*

Проведение аналитического распознавания предполагает наличие достаточно полного и точного аналитического описания эволюции распознаваемой истины в целом. Такое описание возможно, если процесс функционирования распознаваемой истины обладает определенными свойствами, например является *марковским*. В этом и некоторых других случаях можно оценить эффективность распознаваемой истины, т. е. степень ее приспособленности для решения поставленных перед ней задач, для широкого диапазона условий функционирования распознаваемой истины.

Как правило, математическая модель в первоначальном виде непригодна для непосредственного аналитического распознавания. Например, математическая модель может не содержать в явном виде интересующих исследователя величин. В этом случае необходимо трансформировать первоначальную модель в такую систему соотношений относительно искомым величин, которая допускает получение результата *аналитическими методами*. При этом появляется возможность получить достаточно полную информацию о функционировании распознаваемой истины, что и объясняет стремление к аналитическому распознаванию истин в первую очередь. Однако применить такое распознавание на практике удастся сравнительно редко, так как преобразование математической модели в совокупность соотношений, допускающих эффективное получение результата, в большинстве случаев оказывается весьма трудной задачей. Если аналитическое представление математической модели затруднительно, а упрощения задачи ведут к недопустимо грубым результатам, от аналитического распознавания следует отказаться и перейти к другим способам использования математических моделей.

Исследование процессов распознавания истин при помощи *численных методов* находит более широкое применение на практике. Содержание работы при численном распознавании истин остается в основном тем же, что и при использовании аналитических методов. Отличие состоит в том, что после выполнения наиболее трудной части

распознавания — *преобразования математической модели в систему уравнений относительно искомым величин* — необходимо, реализуя соответствующий численный метод, вручную или с применением средств вычислительной техники *получить решение*.

Отметим, что класс уравнений, допускающих приближенное (впрочем, со сколь угодно высокой степенью точности) решение, значительно шире, чем класс уравнений, доступных аналитическому распознаванию. Вместе с тем, решение задачи при использовании численных методов обычно бывает менее полным по сравнению с аналитическим распознаванием, так как не выявляет структуры и характера функционирования распознаваемой истины в целом, а лишь позволяет оценить ее состояние при выбранных численных значениях параметров.

Знание математической модели распознаваемой истины позволяет использовать для распознавания истины аппаратное моделирование или моделирование на аналоговых вычислительных машинах. При этом характерно воспроизведение процессов, описываемых математической моделью с сохранением их логической структуры, последовательности во времени, а иногда и физического содержания.

В отличие от аналитического и численного методов распознавания истин, содержание операций, выполняемых при моделировании, практически не зависит от того, какие величины выбраны в качестве искомым. Для оценки искомым величин может быть использована любая подходящая доступная регистрации информация, циркулирующая в модели.

Моделирование процессов распознавания на *вычислительных машинах непрерывного действия*, по существу, является разновидностью аппаратного моделирования. Сами эти машины, как правило, *представляют собой комплекс многих моделей, способных имитировать разнообразные явления и процессы*. При этом, однако, следует иметь в виду, что *аналоговые модели оказываются особенно удобными при моделировании непрерывных процессов распознавания, но их трудно использовать при анализе дискретных процессов*, в частности для моделирования распознаваемых истин, в процессе функционирования которых осуществляется большое количество логических операций.

Наиболее универсальным средством использования математических моделей являются ЭВМ. Для моделирования функционирования распознаваемой истины на ЭВМ необходимо *преобразовать ее математическую модель в моделирующий алгоритм*. В соответствии с этим алгоритмом в машине вырабатывается информация, описывающая элементарные явления процесса распознавания с учетом

их связей и взаимных влияний. Необходимая часть циркулирующей информации выводится из ЭВМ на печать и используется для определения результирующих характеристик распознаваемой истины. В большинстве случаев моделирование процесса функционирования распознаваемой истины на ЭВМ следует производить с учетом случайных факторов и их имитацией. Этот метод называют *методом статистического моделирования*.

Важно заметить, что структура моделирующего алгоритма слабо зависит от совокупности распознаваемых величин, а определяется в основном математической моделью распознаваемой истины. В то же время показано, что на универсальной ЭВМ может быть реализован любой формальный алгоритм. Поэтому для исследования процессов распознавания методом статистического моделирования нет необходимости всякий раз при разработке нового алгоритма создавать специальные моделирующие установки или специализированные цифровые машины. Достаточно использовать универсальную ЭВМ, обладающую достаточным быстродействием и памятью.

Особенность метода статистического моделирования состоит в том, что в силу учета при моделировании случайных факторов, результаты, получаемые при однократном моделировании процесса распознавания, следует расценивать лишь как реализации случайного процесса. Каждая из таких реализаций в отдельности не может служить объективной характеристикой распознаваемой истины. Поэтому распознаваемые величины при исследовании распознаваемых истин методом статистического моделирования следует определять усреднением по данным большого числа реализаций. Если при этом количество реализаций N достаточно велико, то в силу закона больших чисел получаемые оценки приобретают статистическую устойчивость (порядок дисперсии оценок равен $1/N$) и с достаточной для практики распознавания точностью могут быть приняты в качестве приближенных значений используемых величин.

Метод статистического моделирования должен завоевать обширную сферу применения при распознавании истин. Он дает возможность проводить достаточно полное распознавание разнообразных распознаваемых истин независимо от их физической природы, совокупности распознаваемых величин и прикладной направленности задач распознавания. Этот метод позволяет путем детального моделирования поведения среды, в которой функционирует распознаваемая истина, и самого процесса распознавания истины оценить степень приспособленности распознаваемой истины к выполнению поставленных перед ней задач в различных условиях ее функционирования. Практическая реализация этого метода в

значительной степени определяется возможностями преодоления ряда трудностей:

1) необходимость разработки и отладки моделей поведения среды и процесса функционирования распознаваемой истины достаточно содержательных, чтобы верно отражать основные черты реальных процессов, и достаточно дедуктивных, чтобы получаемые в процессе моделирования результаты были нетривиальными;

2) необходимость проведения достаточно большого количества реализаций работы модели с тем, чтобы результаты моделирования приобрели статистическую устойчивость и их анализ мог дать содержательные выводы относительно достоверности распознавания истины на всем множестве комбинаций внешних воздействий на распознаваемую истину;

3) необходимость привлечения для оценки эффективности распознавания в этих целях ЭВМ весьма высокой производительности и с большим объемом памяти.

Кроме того, методу статистического моделирования присущ общий недостаток любых численных методов, связанный с трудностями установления функциональных зависимостей между численными значениями параметров внешней среды и достоверностью распознавания истины. Результаты оценки достоверности распознавания истины с использованием этого метода носят частный характер и характеризуют достоверность распознавания истины лишь в тех ситуациях, для которых проводилось моделирование.

2.10.3.6. Метод имитационного моделирования

Имитационное моделирование распознаваемой истины представляет собой метод распознаваемой истины, заключающийся в имитации на ЭВМ процессов ее функционирования.

Имитационное моделирование реализуется программным алгоритмом процесса функционирования распознаваемой истины с учетом выбранного уровня детализации и ее испытаний для получения нужных характеристик. Таким образом, под *имитационным моделированием распознаваемой истины* будем понимать процесс конструирования модели распознаваемой истины и постановки экспериментов на этой модели с целью изучения ее поведения либо оценки в рамках ограничений, накладываемых некоторым критерием или совокупностью критериев, стратегий, обеспечивающих распознавание истины. Конструируя модель, ЭВМ как бы имитирует явления и события моделируемого процесса распознавания, что и отражено в названии этого способа моделирования.

Процесс имитации включает в себя большое число операций, связанных с формированием, преобразованием и использованием реализации случайных событий, величин и процессов. Результаты моделирования носят случайный характер, отражают лишь случайные сочетания действующих факторов, складывающихся в процессе моделирования. Искомые величины при имитационном моделировании обычно определяют средние значения по данным некоторого числа реализаций процесса распознавания. Совокупность реализации выступает в роли статистического материала при машинном эксперименте, а оценка параметров распознаваемой истины по результатам моделирования — в роли экспериментальных данных. Поэтому имитационное моделирование иногда называют *методом статистического моделирования*.

Имитационное моделирование позволяет исследовать проблемы, связанные с распознаванием истин, любой сложности, и на любом уровне детализации его можно представить в виде непрерывного спектра, простирающегося от точных моделей или макетов реальных распознаваемых истин до совершенно абстрактных математических моделей. Как следствие этой широты имитационное моделирование представляет собой недостаточно четко определенное понятие в гораздо более узком смысле, чем это следует из приведенного выше определения.

Структуру имитационной модели в самом общем виде можно представить как результат действия истины (устройства, системы)

$$E=f(x_i, y_i),$$

где f — функциональная зависимость между x_i и y_i , определяющая величину E ; x_i, y_i — переменные и параметры, которыми мы можем и соответственно не можем управлять.

Это явное упрощение полезно тем, что дает зависимость функционирования распознаваемой истины от контролируемых и неконтролируемых переменных.

Схема процесса имитационного моделирования показана на рис. 1.

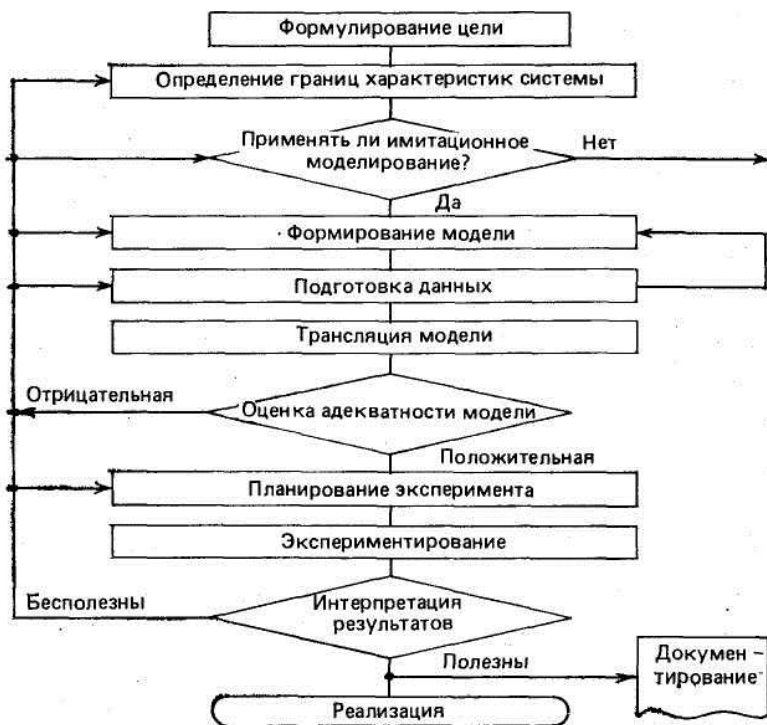


Рис. 1. Схема процесса имитационного моделирования

Этап определения границ характеристик распознаваемой истины подразумевает установление границ, ограничений и измерителей показателей достоверности, подлежащих распознаванию. На этапе *формирования модели* осуществляется переход от представлений об истине к абстрагированию, т. е. к некоторой логической схеме. Подготовка данных состоит в отборе данных, необходимых для построения модели, и представлении их в соответствующей форме. Трансляция заключается в описании модели на языке, приемлемом для используемой ЭВМ. Оценка адекватности модели осуществляется путем обращения к модели и сопоставлении полученной информации с данными об истине.

Планирование эксперимента по распознаванию истины включает в себя совокупность сведений по организации эксперимента. *Экспериментирование* — собственно процесс имитации с получением необходимых данных, которые должны обеспечить достоверность

сведений об истине. *Построение выводов* по данным, полученным путем имитации, осуществляется на этапе интерпретации результатов. *Документирование* включает регистрацию как процесса распознавания и его результатов, так и процесса создания и использования модели. *Реализация* подразумевает практическое применение модели и результатов моделирования.

Недостатки имитационного моделирования:

1. В отличие от математического моделирования, позволяющего в ряде случаев получать аналитические зависимости показателей от внутренних характеристик распознаваемой истины, одиночное испытание модели может дать лишь численные величины некоторого показателя при заданных значениях распознаваемых характеристик.
2. Получение формальных и графических зависимостей от характеристик распознаваемой истины требует многократных испытаний.
3. Разработка программ сложных имитационных моделей весьма трудоемка и требует высокой квалификации разработчиков.
4. Имитационная модель в принципе неточна, и не представляется возможным измерить степень этой неточности. Этот недостаток может быть преодолен лишь частично путем анализа чувствительности модели к изменению определенных параметров распознавания.

Имитационное моделирование, как правило, представляет собой крайнее средство, используемое для решения задачи распознавания. Естественно, что когда задача распознавания может быть сведена к простой модели и решена аналитически, то необходимость в имитационном моделировании не возникает.

Реальным способом снижения трудоемкости имитационного моделирования является автоматизация процедур построения и реализации моделей. Одним из средств достижения этого служат специализированные языки моделирования. Однако даже для относительно несложных распознаваемых истин подготовка моделей и отладка программ требуют больших усилий. Наиболее полное решение задачи достигается при создании универсального пакета прикладных программ, называемого обычно автоматизированной имитационной моделью (АИМ), способного настраиваться на имитацию любых распознаваемых истин из данного заранее определенного класса. В этом случае все процедуры обслуживания модели, связанные с вводом в ЭВМ исходных данных, их расположением в памяти, преобразованием элементов структуры и схем сопряжения к стандартному виду, настройкой модели на исследуемую истину и конкретную задачу

распознавания, фиксацией, обработкой и анализом результатов моделирования и т. д., которые могут быть формализованы, программируются для выполнения при помощи ЭВМ.

3. Отражение истин как их всеобщее свойство

3.1. Проблема единства мира и его отражение

На всем протяжении развития науки наблюдаются различные подходы к истолкованию проблемы единства мира.

Впервые вопрос о единстве мира поставили античные мыслители Фалес, Демокрит и др. Поскольку их взгляды на мир, материю носили наивный характер, они не сумели полностью решить этот вопрос. Для них характерны догадки о том, что единство мира – в его материальности. Проблема единства мира по-своему решалась и другими античными мыслителями, которые исходили из признания основы единства мира в существовании первичных абсолютных идей, или ощущений человека. Последовательность в признании единого начала – материи или духа – называется философским монизмом.

Противоположностью монизма является дуализм. Дуалисты считали, что существуют два равноправных начала, две независимые друг от друга субстанции: материя и дух.

Виднейшим представителем дуализма был французский философ и математик XVI в. Р. Декарт.

В этот же период материалистическую линию в решении вопроса о единстве мира проводили представители метафизического материализма Ф. Бекон, Т. Гоббс, Б. Спиноза, французские материалисты XVIII века.

Глубже, чем другие материалисты, подошли к решению проблемы единства мира русские философы середины XIX века. Опираясь на достижения философии, а также на новые успехи естествознания, они

пытались взглянуть на мир как на процесс развития. По Чернышевскому, природа представляет собой не что иное, как разнородную материю с многообразными качествами. Он утверждал, что органические и неорганические «комбинации элементов» образуют единство и что органические элементы возникают из неорганических. Однако, идеалистически рассматривая сущность общественных явлений, русские демократы не смогли до конца последовательно разрешить проблему материального единства мира.

Проблему единства мира с материалистических позиций решали Маркс и Энгельс, опиравшиеся на достижения естественных и общественных наук. Они отвергли метафизическое представление о непроходимой пропасти между живой и неживой материей, **обосновав положение о возникновении жизни из неорганической материи, дав определение жизни как способа существования белковых тел, являющихся ее материальными носителями.**

При рассмотрении вопроса о единстве мира материалисты исходят из того, что в мире нет ничего, кроме движущейся материи, и что движущаяся материя не может двигаться иначе, как в пространстве и времени.

Материальное единство мира как диалектическое единство многообразия проявляется двояко. Во-первых, как своеобразная дискретность строения объективной действительности. Наличие в ней качественно различных, отграниченных друг от друга вещей, явлений, процессов, систем. Во-вторых, как иерархические отношения между системами разной степени сложности, организованности, выражающиеся во «включении» менее сложных систем в более сложные. Несводимости специфических закономерностей последних к первым.

Диалектико-материалистическое положение о материальном единстве мира соответствует развитию естествознания того периода. Открытие электромагнитных волн и **светового давления** свидетельствует о материальности электромагнитного поля и о наличии массы света, который представляет собой, как оказалось, электромагнитные волны определенной длины. Открытие клетки показало единство в строении всего живого при всем многообразии его видов. Важными открытиями в этом отношении являются открытие закона сохранения и

превращения энергии и создание эволюционной теории происхождения видов Дарвиным.

Овладение методом спектрального анализа позволило установить, что Солнце и другие звезды, звездные ассоциации и планеты имеют в своем составе те же химические элементы, что и Земля. Многообразие химических элементов раскрывается периодической системой элементов Д.И. Менделеева.

Особенно знаменательными были открытия в физике на рубеже XIX-XX вв., показавшие сложную структуру атома. Обогатились представления об основных формах движения. Эти открытия отвергают субстратно-вещественную модель мира, авторы которой пытались свести всю материю во Вселенной к некоей «праматерии». Такой первоматерией всех вещей английский физик Праут считал, например, атом водорода.

Кроме субстратно - вещественной модели единства мира, существует функциональная модель, согласно которой каждая малая частица во Вселенной связана с другой, сколь угодно удаленной от нее. Вселенная функционирует как единый механизм, в котором каждое явление строго необходимо и занимает вполне определенное место в общей цепи событий. Взятая изолированно от других, эта модель упрощает действительность.

В наибольшей степени действительности соответствует атрибутивная теория единства мира. В этой теории предполагается единство всех видов материи и форм движения. Здесь имеется в виду единство атрибутов материи, ее законов. Это единство проявляется и в единстве законов сохранения.

Вносит свой вклад в раскрытие сущности материального единства мира и кибернетика, устанавливающая общее в различных явлениях и процессах. И вообще, интеграция наук – свидетельство материального единства мира. Вместе с тем, выход естествознания на новый уровень, где здравый смысл уже не может регулировать отношения истинности и ложности, потребовал и изменения философских трактовок Бытия. В структуру бытия была введена категория «наблюдатель». От характеристик наблюдателя (движется он или покоится, какова его масса, заряд и т.д.) зависят характеристики наблюдаемого объекта. Эта концепция, возникшая как реакция на

создание Теории относительности и Квантовой механики, не могла проявить себя и в других сферах философского знания. **Все большее распространение получает в философском знании замена вопроса: что такое мир, на вопрос «каким мы этот мир представляем».** Так, в социальной философии все более популярной становится идея «социального конструирования реальности». Категории Бытия, по мнению сторонников этой концепции, зависят от убеждений людей, воспринимающих мир. То, что считается истинным подавляющим большинством, становится истинным по своим последствиям. Наиболее мощную попытку построить постмарксистскую концепцию Бытия предпринял немецкий философ М. Хайдеггер. По его мнению, **существуют три разновидности Бытия. Первая форма или собственно Бытие** есть форма существования вообще. Жизненная сила, которая позволяет предметам и явлениям пересечь границу между Бытием и Небытием. **Второй разновидностью Бытия** выступает по Хайдеггеру **здесь-бытие**: мгновенный слепок бытия единичных предметов. В этом понятии фиксируются характеристики бытия предметов, которые находятся за пределами нашего сознания. Их нельзя понять. Но их можно пережить (тяжесть, боль, страх, радость, холод и т.д.). Сознание человека не хочет мириться с тем, что существует нечто, недоступное пониманию. Оно создает аналоги этих характеристик, выступающих в качестве атрибутов Бытия. На место холода ставится температура, на место тяжести – масса. В отличие от первых, вторые характеристики связаны с деятельностью человека. Они могут быть поняты и изучены. **Эту форму Бытия Хайдеггер назвал Map (человеческое Бытие).**

В последнее время неклассические трактовки Бытия начинают приобретать все больший вес в гуманитарных науках. Особенно это относится к социологии и экономике. На место прежних «объективных», независимых от мнения и сознания людей линейных законов приходят законы вероятностные, наступление действия которых оказывается связанным со статистическими закономерностями. **Уже не естественные науки с их линейным детерминизмом (обязательные причинно-следственные связи) диктуют правила гуманитарным, а наоборот.**

Единство мира, о котором здесь говорится, это не всеобщее биологическое единство человеческого рода, это и не род ойкумены, которая подразумевается сама собой и которая, несмотря на все противоречия, как-то существовала среди людей во все времена в какой-либо форме. Это и не единство международных сношений,

мировой торговли, Всемирного почтового союза или чего-то подобного, но нечто гораздо более сложное и жестокое. Речь идёт о единстве организации человеческой власти, которая должна планировать, управлять и овладеть всей Землёй и всем человечеством. Речь идёт о важной проблеме, созрела ли уже сегодня Земля для единственного центра политической власти.

Одно и единство — это трудная проблема вплоть до математики. В теологии, философии, морали и в политике эта проблема единства вырастает до огромных пропорций. Следует напомнить о многих сложных аспектах проблемы единства, перед лицом поверхностности лозунгов, которые являются сегодня общепринятыми. Все вопросы, даже вопросы чистой физики, сегодня неожиданно быстро превращаются в основополагающие проблемы. Но в вопросах человеческого порядка единство часто выступает нам навстречу как абсолютная ценность. Мы представляем себе единство как единодушие и единогласие, как мир и хороший порядок. Можем ли мы поэтому абстрактно и всеобще утверждать, что единство лучше многообразия?

Видимо нет. Единство, абстрактно говоря, точно также может быть усилением зла, как и усилением добра. Не каждый пастырь — это добрый пастырь, и не каждое единство тоже. Не любая хорошо функционирующая, организация соответствует уже как просто единство образцу человеческого порядка. И царство сатаны — это единство, и сам Христос имел в виду это единое царство зла, когда он говорил о дьяволе. И попытка постройки Вавилонской башни была попыткой единства. Перед лицом некоторых современных форм организованного единства мы даже можем сказать, что вавилонская путаница может быть лучше, чем вавилонское единство.

Желание хорошо функционирующего глобального единства мира соответствует господствующему сегодня, технически-индустриальному мировоззрению. Техническое развитие непреодолимо ведёт к новым организациям и централизациям. Если действительно судьбой человечества является техника, а не политика, тогда проблему единства можно рассматривать как решённую.

3.2. Единый закономерный мировой процесс

Мир — это единая материальная субстанция. Ее важнейшим способом существования является процесс развития. Материальное единство

мира выражается поэтому в единстве мирового процесса развития, т. е. в едином закономерном мировом процессе. Субстанциальное единство мира проявляется в его процессуальном единстве. Согласно Ленину, мир есть «вечный процесс» «мир есть вечно движущаяся и развивающаяся материя», «единый, закономерный мировой процесс».

Единый мировой процесс представляет собой закономерную последовательность ступеней, возникающих в результате спонтанного развития субстанции, которая порождает их из самой себя в силу своей природы.

Основой единого мирового процесса служит аккумуляция содержания в процессе развития. Каждая последующая ступень, возникая из предшествующей, не устраняет, а сохраняет ее в себе. Тем самым субстанция «... не только ничего не оставляет позади себя, но несет с собой все приобретенное и обогащается и сгущается внутри себя» (Гегель). Мировой процесс есть бесконечное восхождение от низшего к высшему.

Известные современной науке четыре основные формы материи выступают в качестве ступеней единого бесконечного мирового процесса развития. Представление о едином мировом процессе развития является синтезом философских и конкретно-научных обобщений.

3.2.1. Основные формы материи

Основные формы материи: единство, сущность, способ существования, направленность эволюции. Социальная форма материи: происхождение, сущность, способ существования. Место и роль человека в мире. Современный антропоцентризм.

Материя – это философская категория для обозначения объективной реальности, которая дана человеку в его ощущениях, которая копируется, отображается, фотографируется нашими ощущениями и существуют независимо от них.

Виды материи:

- Вещество (имеет массу покоя, различные агрегатные состояния)
- Поле

Форма материи – совокупность различных объектов и систем, обладающих единой качественной определенностью, выражающейся в общих свойствах и специфических для данной формы материи способах существования.

1. **Физическая форма материи (ФФМ)** известна нам лишь с простого уровня – лептонов и кварков, выше которого уровень элементарных частиц – протонов, нейтронов, атомов макротел, включая образование – метagalaxy, или нашу вселенную. В более укрупненном плане ФФМ может рассматриваться как составленная из двух основных форм физической материи – **вещества и поля**.

Хотя современная физика не знает как наиболее простых, так и наиболее крупных уровней физической реальности, в ней получила серьезные основания идея генетического единства ФФМ. Согласно современным представлениям, известная нам физическая реальность возникла из относительно простого сингулярного состояния в результате “Большого взрыва” 10-20 млрд. лет назад. Не зная нижнего и верхнего пределов ФФМ, мы можем, однако, с большой уверенностью заключить о **существовании объединяющих физическую реальность двух наиболее фундаментальных свойств – массы и энергии**.

Каждая частная физическая форма материи и движения обладает своими специфическими свойствами, отличающими ее от других форм, однако в целом, в своей тотальности частные физические формы материи характеризуются единым, общим, интегральным свойством – энергией, в которой угасают эти специфические свойства, исчезают различия между частными физическими формами материи и движения. Наличие этого свойства оказывается необходимой основой взаимодействия и взаимопревращения различных физических объектов, позволяет **ввести общую меру физического движения**, отражающую единство физической реальности, ее отличие от химической, биологической социальной форм материи.

Фундаментальные свойства масса и энергия находятся в глубокой зависимости, фиксируемой соотношением Эйнштейна $E=mc^2$, таким образом, **физическая форма материи – это масс-энергетический мир.**

Материал современной физики позволяет определить специфический способ, или форму, развития. С момента Большого взрыва развитие ФФМ осуществлялось первоначально путем преимущественно дифференциации, возникновения все большего многообразия физических объектов, затем, все в большей степени, посредством прямого субстратного синтеза, интеграции простых образований в более сложные. **Важнейшей особенностью этого процесса дифференциации – интеграции является его масс-энергетический характер.**

Единым способом существования являются 4 типа взаимодействия: сильное, слабое, электромагнитное, гравитационное.

2. Химическая форма материи (ХФМ): единство, сущность, способ существования, направленность эволюции.

ХФМ включает уровни от атома до макромолекулярных комплексов, лежащих в преддверии живой материи. ХФМ «строится» из физической. **Химический атом синтезирован из протонов, нейтронов и электронов.**

Существенный факт в пользу своеобразной химической реальности является то, что химические связи между качественно различными атомами в физическом отношении различаются только количественно. Так связь Н-С отличается от Н-Н с физической стороны лишь полярностью и разностью электроотрицательности атомов. С химической же стороны – это связи водорода с качественно различными химическими элементами.

Химический мир – это над-массэнергетический мир, в котором слабые масс-энергетические процессы хотя и имеют место, образуя физическую основу химизма, но не определяют ее природы. Химический мир, как подметил еще Гегель, характеризуется несравненно большим качественным многообразием, чем физическим. Образуясь всего из **трех элементарных частиц,** ХФМ включает

свыше 100 химических элементов, из которых возникает огромное качественное многообразие химических соединений. В настоящее время идентифицировано порядка 8 млн химических соединений и ежегодно синтезируется около 0,5млн. Химические элементы составляют низший, наиболее простой и исходный уровень химической эволюции. **Они возникают в результате предшествующего физического процесса эволюции, обладают неодинаковой физической и химической сложностью и, следовательно, различными возможностями дальнейшего химического процесса развития, различным потенциалом развития. Углерод – наиболее сложный химический элемент, обладающий наивысшим потенциалом химического развития.** В той или иной мере близкими углероду эволюционными потенциалами обладают водород, азот, сера и фосфор. В силу этого углерод, водород, кислород и др. хим. элементы играют главную роль в химической эволюции, закономерно приводящей к появлению жизни, и поэтому **называются элементами-органогенами.**

В основе представления о химическом способе объективно-реального существования и развития лежит понятие химической реакции. **Химическая реакция - это относительно самостоятельное превращение, связанное с некоторым конечным числом реагирующих субстратов.**

Химический процесс есть единство синтеза (ассоциации) и распада (распада). Поскольку химический синтез приводит к усложнению веществ, он является химической формой прогресса, а распад – регресса.

Общим интегральным направлением химических преобразований является прямой субстратный синтез. Он выступает в качестве общего для Ф и ХФМ способа объективно-реального существования и развития, однако он обладает в них своей существенной спецификой.

Химический субстратный синтез включает особый, специфический механизм – **катализ, т.е. способность ускорения химических превращений.** В ХФМ, таким образом, возникает своеобразная способность многократного самоускорения движения и развития.

В развитии ХФМ можно выделить целый ряд направлений. Общим направлением всех линий развития является движение от низшего к

высшему, от простого к сложному: от химических элементов к молекулам и их комплексам. В пределах общего направления можно выделить магистральное, т.е. основное направление, и побочные, или тупиковые, ветви развития.

Магистральное направление развития ХФМ связано с углеродом как наиболее сложным и богатым химическим элементом и другими элементами-органогенами – Н, О, N, S, Ph. Тупиковые направления обуславливают развитие на магистральной линии, создают необходимые для химической эволюции условия. В конечном счете, **химическая эволюция закономерно приводит к возникновению живой материи**. В химической эволюции обнаруживается одна из важнейших закономерностей развития – **аккумуляция содержания низших ступеней в высших**. Химическая эволюция представляет собой не простую смену одного состояния другим, а **накопление, синтез основных результатов развития в последующих ступенях, в результате чего возникает материальный субстрат, обладающий наибольшим многообразием самых различных и даже противоположных свойств**. Так белки, один из важнейших компонентов живой материи, обладают кислотными и основными, гидрофильными и гидрофобными свойствами, обнаруживают все основные типы реакций. В нуклеиновых кислотах благодаря их особой структуре происходит накопление информационного содержания в сжатой, кодированной форме.

Возникновение жизни обусловлено, прежде всего, магистральным направлением химической эволюции, где ХФМ выступает в своем оптимальном или, или достаточно полном, содержании или многообразии.

3. Биологическая форма материи (БФМ): единство, сущность, способ существования, направленность эволюции.

Субстрат: белки, нуклеиновые кислоты, углеводы, жиры, некоторые минеральные соединения.

Жизнь – высшая из природных форм движения материи, которая характеризуется самообновлением, саморегуляцией, самовоспроизводством разноуровневых открытых систем субстратную функциональную основу которых составляет белки, жиры, нуклеиновые кислоты, фосфорорганические соединения.

Сущностью жизни, или биологического способа существования, является тенденция к самосохранению путем приспособления к среде.

Особенность биологической формы материи (БФМ): если более простые материальные тела – физические и химические существуют в силу присущей им большей или меньшей устойчивости, то у живой материи самосохранение становится результатом активных процессов.

На самосохранение направлена вся совокупность физических, химических и биологических процессов живого организма. Это самосохранение возможно только благодаря активному приспособлению живых организмов к окружающей среде.

Самосохранение путем приспособления, как два важнейших свойства БФМ, выражаются в совокупности других существенных свойств живой материи: ассимиляции и диссимиляции, росте развитии организмов, раздражимости и сократимости живой ткани, способности к движению, способности к эволюции.

***Наследственность* – концентрированное выражение способности живого к самосохранению, своего рода биологическая память. Важнейшие индивидуальные, видовые и другие признаки живого закрепляются посредством особых биологических структур – генов, совокупность которых образует геном организма. Совокупность всех геномов живых организмов составляет генофонд живой материи в целом.**

В классификационном отношении живые организмы образуют четыре царства природы – растений, животных, грибов и вирусов, которые в свою очередь делятся на типы, классы, отряды, семейства, роды, виды, некоторые промежуточные единицы.

Одним из замечательных способов самосохранения живого является непрерывное существование жизни через смену поколений. Живое и его генетическая основа являются в этом смысле бессмертными, смертны лишь отдельные индивиды и поколения.

Весьма важную роль в развитии БФМ играет **способность отображения внешней среды**, возникающая первоначально в **форме раздражимости**, на основе которой далее возникает **чувствительность и психическая деятельность.**

Биологическая эволюция. Наиболее разработанной теорией биологической эволюции является современный дарвинизм (СТЭ). Согласно СТЭ важнейшими факторами эволюции являются наследственная изменчивость и естественный отбор, понимаемый как выживание наиболее приспособленных организмов. Принято считать, что наследственная изменчивость имеет случайный характер и поэтому биологическая эволюция должна рассматриваться как случайный процесс. Ключевую роль в эволюции играют, таким образом, случайные по своей природе мутации, естественный отбор превращает случайные изменения в необходимые. Дарвин считал, что биологическая эволюция приводит к появлению наиболее сложного живого существа – человека.

4. Социальная форма материи: единство, сущность, способ существования, направленность эволюции. Место и роль человека в мире.

Одной из важнейших сторон учения о формах движения материи является трактовка общественных процессов как социальной формы материи.

В современной науке, включая философию, широко распространено представление о случайности появления человека в ходе биологической эволюции, развитии природы, или, иначе, о случайности человека по отношению к природе мира в целом. Утверждение о случайности человека по отношению к миру означает, что человек находится в поверхностном, внешнем (случайном) отношении к миру, к его сущности, возникает не на магистральной, а на задворках мирового развития. Он обладает, следовательно, случайным, несущественным содержанием, природой и, следовательно, не может с достоверностью судить о природе мира

С позиции случайного человека природа мира оказывается непознаваемой, достоверное мировоззрение – невозможным. Более того, не находясь в отношении к самой сущности мира, обладая случайным содержанием и случайной сущностью, человек не может судить и о своей случайности или необходимости.

Концепция случайности человека по отношению к миру, его сущности, с необходимостью приводит к заключению о бессодержательности и бессмысленности человеческого существования, ибо случайное и есть

бессодержательное и, следовательно, бессмысленное. Таким образом, если исследовать основания и смысл утверждения о случайности человека по отношению к бесконечному мировому процессу, мы неизбежно приходим к выводу, что это утверждение противоречит самому себе и поэтому лишено смысла.

В материалистической философии концепция человека имеет многоуровневый и многоаспектный характер. В рамках единой концепции человека можно различить прежде всего два уровня, которые с некоторой условностью можно назвать всеобщей и особенной концепциями человека. Первая концепция входит в состав наиболее общей философской науки – диалектического материализма и представляет собой описание человека во всеобщих категориях, т.е. применительно к всеобщим сторонам мира – материи, развитию, необходимости, случайности и т.п. Вторая концепция представляет собой описание человека в категориях особенного – социологии, или исторического материализма – общества, производительных сил и производственных отношений, классов, наций и т.д.

С позиции научной философии возникновение человека (общества), как высшей формы материи, вызвано тремя группами факторов или причин: **всеобщими, особенными и единичными**. **К всеобщим относится природа (сущность) бесконечного мира. К особенным причинам появления человека необходимо отнести, прежде всего, эволюцию биологической формы материи, закономерно порождающую высшую форму жизни – мыслящие существа. Следует выделить также единичные факторы возникновения человека, к которым можно отнести локальные условия земли, определившие специфические черты земного человечества.**

Абсолютная тенденция жизни к самосохранению закономерно приводит к появлению более эффективного и радикального способа существования, способа выживания, чем приспособление к среде. Таким новым способом выживания может стать только преобразование среды и, на этой основе, преобразование самого живого, т.е. производство жизни. Производство самого себя на основе преобразования среды – новый, высший способ существования и развития человека, социальной формы материи.

Среди факторов, названных нами особенными, весьма важное место принадлежит труду. Энгельс сформулировал новую концепцию

антропосоциогенеза. Основная идея этой концепции заключается в том, что труд, как процесс преобразования природы и самого человека, с момента своего зарождения и в процессе дальнейшего формирования служил вначале активным, а затем определяющим фактором формирования человека. Огромную роль в формировании человека сыграли биологические факторы, включая естественный отбор. Зарождающийся и формирующийся труд мог привести к возникновению человека лишь становясь в то же время и биологическим фактором – фактором естественного отбора.

Труд – процесс взаимодействия человека с природой, который осуществляется с помощью вырванных из природной среды и преобразованных природных элементов – средств труда (прежде всего орудий труда). Труд имеет коллективный характер и выступает основой формирования общества как сложного коллектива людей, объединенных социальными, прежде всего экономическими связями.

Человеческая сущность. Человек – это существо, которое производит само себя, свое бытие, своя сущность. Человек живет тем, что в природе не существует, что он должен непрерывно создавать. Главное в человеческом способе существования – производство самого себя, своего собственного бытия и своей сущности. Производство предметов – средство существования человека, его бытия и сущности. Человек, человечество – высшая форма материи, обладающая наиболее сложным способом существования и развития. Важнейшими сущностными силами человека являются труд, или преобразовательная материальная деятельность человека, мысль, или универсальная и неограниченная способность познания мира, общение, т.е. социальная связь с себе подобными. Вторым ярусом человеческих сущностных сил выступают способности и потребности. Важными сущностными свойствами человека, связанными с обеими группами свойств, являются коллективность и индивидуальность, свобода и ответственность.

Производящий способ существования человека как высшей формы материи определяет возникновение другой сущностной черты человека – сознание. Человек поэтому – производящее и сознающее существо.

Человеческая сущность противоречива: она несет в себе противоречия между потребностями и способностями, трудом и мыслью, трудом и формами общения, коллективностью и индивидуальностью, свободой

и ответственностью и др. развитие человеческой сущности происходит на основе ее внутренних противоречий.

Смысл человеческого существования определяется сущностью человеческого существования, но не тождественен с нею. Сущность человека, человеческого существования имеет наиболее общие и постоянные, вечные черты, поскольку она всегда заключается в производстве человеком своего собственного бытия.

Научная философия показала, что смысл человеческого существования нельзя искать вне человеческой жизни – в природе, боге, идеи. Смысл заложен в самом человеческом существовании. Человек производит свое собственное существование, что и составляет его сущность и смысл. Смысл существования – не в бессмысленном течении времени человеческого бытия, а в движении человека в свою собственную сущность, в углублении человека в свою бесконечную человеческую сущность.

АНТРОПОЦЕНТРИЗМ — крайняя форма антропоморфизма, познавательной установки, в которой утверждается наличие человеческого измерения в любом знании о природе, обществе и в самом познании. Классическую формулировку антропоцентризм обретает в знаменитой формуле Дротагора **“человек есть мера всех вещей”**. В отличие от античного уподобления микро- и макрокосма, а также от объективизма классической рациональности в современном естествознании антропоцентризм выражает зависимость научного результата не только от положения субъекта-наблюдателя и характеристик его инструментальной и целеполагающей деятельности, но и от самого факта его присутствия во вселенной.

В социальном познании антропоцентризм противоположен социоцентризму, или социологизму. В концепциях антропоцентристского направления подчеркивается самостоятельность индивида как субъекта свободного выбора и ответственного поступка. В политике принцип антропоцентризма реализован в либерализме, признающем приоритет интересов личности перед интересами любых сообществ и неотчуждаемость ее естественных прав. Методологически антропоцентризм противостоит натуралистическому детерминизму и историцизму, означая приоритет целеполагающей человеческой деятельности перед социальными структурами и “законами исторической необходимости”. Антропоцентристской установке чуждо

масштабное социальное проектирование и жесткие социальные технологии (см. Технологии социальные), подчиняющие интересы личности логике проекта и превращающие человека в “винтик” государственной машины. Антропоцентризм содержит в себе требование соразмерности социальных преобразований человеку и очерчивает пределы вмешательства власти в человеческую повседневность. Что касается марксизма, то он унаследовал просветительский взгляд на человека как на продукт обстоятельств и воспитания и определял сущность человека как комплекс социальных отношений. И хотя деятельностный подход, реализованный в понятии общественной практики, и претендует на снятие дилеммы антропоцентризма и социоцентризма, марксизм в целом явно тяготеет к последнему. Отход К. Маркса от антропоцентризма, заявленного в “Экономическо-фалософских рукописях 1844 г.” и “Манифесте Коммунистической партии” (“свободное развитие каждого есть условие свободного развития всех”), отчетливо виден в его концепции формационного развития общества как естественно-исторического процесса, в рамках которого человек представляет собой “личный элемент производительных сил”. Русские марксисты, напр., Г. В. Плеханов, явно тяготели к социоцентризму в решении вопроса о роли личности в истории. В классической социологии основная позиция антропоцентризма отчетливо выражена Г. Спенсером, полагавшим, что “каждое социальное явление должно иметь своим источником известные свойства индивидов”, а потому “тип общества определяется природой составляющих его единиц”. Развернутую социологическую интерпретацию антропоцентризм обрел в “понимающей социологии” А. Вебера. Веберовский постулат субъективной интерпретации гласит: **ничто не может быть понято лучше, чем индивидуальное осмысленное действие.** Понять социальное явление значит свести его к субъективным смыслам действующих индивидов — конечному пункту теоретического анализа любых социальных процессов. В поствеберовской социологии антропоцентризм противопоставлен структурному функционализму, сторонники которого акцентировали внимание на детерминирующем воздействии социальных структур. Наследующая же веберовские традиции феноменологическая социология выступала против реификации (овеществления) социальных структур и трактовала их как набор социально одобренных образцов человеческого поведения. Не отрицая структурирующего воздействия социальных институтов на человеческую деятельность, она исследовала систему высокосложных типизации, аккумулирующих опыт индивидуального “усвоения” подобных образцов в исполнении социальных ролей (интериоризация). Социологический постмодернизм

ликвидировал противопоставление человека и продуктов его творческой активности, радикализовав структуралистские идеи “смерти субъекта” (М. Фуко), растворения автора в тексте (Р. Борт). Современной социологии свойственны попытки снятия дилеммы антропо- и социоцентризма с помощью понятия габитуса как инкорпорированной социальности (П. Бурдьё). Но в отличие от традиционных обществ, габитус современного человека, вовлеченного во множество изменчивых личных и анонимных социальных связей, не может считаться социальным инвариантом, а концепция габитуса— окончательным снятием дилеммы антропоцентризма и

3.2.2. Отражение как всеобщее свойство материи

Формы отражения. Сознание как высшая форма отражения. Отражение в праве.

Если отражение в неживой природе характеризуется относительно простыми формами и пассивным характером, то для биологических форм отражения уже свойственна различного уровня приспособительная активность, начиная с раздражимости как наиболее простой способности живого избирательно реагировать на воздействие окружающей среды. На более высоком уровне эволюции живого отражение принимает форму чувствительности. О психической форме взаимодействия живого организма со средой мы можем говорить тогда, когда появляется адекватное отображаемому объекту содержание отражения, не сводимое к собственным биологическим свойствам живого организма. Именно психическая форма отражения осуществляет регулятивное отражательное взаимодействие организма со средой, которое заключается в нацеливании живого организма на деятельность, воспроизводящую биологические условия его существования.

Мотивация деятельности животного обеспечивается врожденными нейрофизиологическими структурами в форме определенных чувственных импульсов на базе системы безусловных рефлексов. С появлением головного мозга возможности адаптивного отражения уже реализуются, как считают некоторые исследователи, с

помощью наглядно-действенного и наглядно-образного мышления на фундаменте условных и безусловных рефлексов.

Сказанное имеет в своей основе отношение и к человеческой психике. Однако человек несводим к совокупности биологических условий его существования. Человек существует в пространстве социума, отражение и регулирование взаимодействия с которым осуществляется главным образом с помощью сознания. Если психика животного отражает только простые, внешние свойства вещей в чувственных образах, то человеческое сознание - сущность вещей и явлений, скрытую за их внешними характеристиками. Другими словами, психическое отражение на уровне животного осуществляется посредством отождествления внешних объектов с самим отражающим субъектом "в той форме непосредственности, в которой не существует различий между субъективным и объективным" (Г.В.Ф. Гегель).

В сознании человека, напротив, **предметы и явления внешнего мира отделяются от самих переживаний субъекта, т.е. они становятся отражением не только объекта, но и самого субъекта.** А значит, в содержании сознания всегда представлен не только объект, но и субъект, его собственная природа, что обеспечивает качественно новый по сравнению с животной психикой уровень адаптивного отражения на базе целеполагания. "Психический образ у человека есть результат не только воздействия конкретной ситуации, но и отражения онтогенеза индивидуального сознания, а стало быть, в известной мере и филогенеза общественного сознания", поэтому при анализе сознания как формы психического отражения необходимо учитывать трехплановость отражения. А именно, **понимание сознания как "субъективного образа объективного мира" предполагает несколько уровней "образного" отражения: непосредственного, опосредованно-обобщенного отражения на уровне индивида и опосредованно-обобщенного отражения как итога всей истории социума.** Сознание является высшей формой психического целенаправленного отражения действительности общественно развитым человеком, формой чувственных образов и понятийного мышления.

Итак, **сознание - высшая форма отражения действительности.** Естественно возникает вопрос: как возникла столь сложная и высокая форма отражения, что ей предшествовало на низших ступенях развития материи? С точки зрения диалектического материализма,

сознание - продукт длительного исторического развития самой материи, которая в процессе эволюции от неживой к живой породила все более сложные формы отражения. Следовательно, истоки высшей формы отражения - сознания - следует искать в самой материи, ее эволюции.

К. Циолковский говорил об одном удивительном свойстве материи, свойстве, которое он называл отзывчивостью. «Отзывчивы, - писал он, - все тела космоса», «отзывчива всякая частица Вселенной». «Так все тела изменяются в объеме, форме, цвете, крепости, прозрачности и всех других свойствах в зависимости от температуры, давления, освещения и вообще воздействия других тел» (например, термометр, барометр, гигроскоп и другие научные приборы гораздо отзывчивее человека). В диалектико-материалистической философии это всеобщее свойство материи называется отражением.

Что же такое **отражение**? Прежде всего, важно отметить, что это **свойство материи проявляется в процессе взаимодействия тел, объектов, предметов, явлений**. Любое взаимодействие не остается бесследным. **Способность всей материи удерживать, сохранять следы, результаты взаимодействия в своем внутреннем состоянии, своей структуре называется отражением**. Это своеобразная «память» материальных объектов о предшествующем взаимодействии, т.е. **отражение - это всегда результат взаимодействия**. Можно предложить несколько определений понятия «отражение», но суть их одна: **отражение - это способность материальных систем специфически воспроизводить в своей организации структуру внешнего воздействия, иными словами, «способность одних тел в результате их взаимодействия с другими телами воспроизводить особенности последних в своей собственной природе»** Алексеев П.В., Панин А.В. Диалектический материализм. М., 1997. С.150..

В приведенных выше определениях даны все универсальные характеристики отражения:

- отражение вторично по отношению к отражаемому;
- между отражением и отражаемым существуют отношения сходства, адекватности;

- носителем (субстратом) отражения является уровень организации материальных систем.

Материя неоднородна по своему строению, по уровню своей организации. Следовательно, мы можем сравнивать различные материальные системы по интенсивности отражения. Если рассматривать материю с точки зрения уровня ее организации, то можно выделить следующие фазы, ступени, уровни в развитии самого отражения.

Первый уровень - неорганическая материя. Этому уровню присущи 3 простейшие формы отражения:

а) **механическая** - результаты таких механических воздействий, как удар, давление, дробление, перемещение и др. Примерами таких результатов могут быть: следы человека, животного на почве, отпечатки вымерших животных или растений в слоях земли, деформация или разрушение тел при их столкновении и т.д.;

б) **физическая** - результаты воздействия тепла, света, влаги, звука, магнетизма, электричества, гравитации и т.д. Это, например, окисление металла под воздействием влаги, расширение тел под воздействием тепла или сжатие под воздействием холода, изменение магнетизма тел под воздействием магнита, деформация пород под воздействием солнца, ветра, влаги и т.д. Физическая форма отражения используется в ЭВМ, при управлении с земли космическими кораблями и системами;

в) **химическая** - результаты взаимодействия химических элементов, их реакции, т.е. изменения в самих элементах, образование их соединений и т.д.

Химическое взаимодействие и его результаты особенно важны в том отношении, что именно в них наука видит ключ к разгадке тайны происхождения жизни на земле. Согласно взглядам ряда ученых (школа академика А.И. Опарина) жизнь зародилась в первозданном океане, где различные химические элементы находились (как находятся и сейчас) в растворенном состоянии и свободно перемещались вместе с движением воды. Это создавало условия для их взаимодействия, соединения, благодаря чему в водах океана возникали все более и более сложные углеродистые соединения, приведшие к

возникновению аминокислот, нуклеиновых кислот и белка, что означало появление жизни. **Жизнь возникает с появлением таких сложных органических соединений, которые способны к саморегулированию, самосохранению, самосовершенствованию и размножению.**

Второй уровень - органическая материя. Этот уровень материи чрезвычайно многообразен, и его эволюция шла от низших форм к высшим. Здесь также можно выделить 3 формы отражения:

а) **раздражимость** как результат воздействия предметов, внешней среды, проявляющийся в виде возбуждения и ответной избирательной реакции. **Избирательность** - это реакция в соответствии с потребностями организма, это использование благоприятных факторов и «уход» от неблагоприятных. **Эта элементарная форма отражения присуща всей живой материи, но у сложных, особенно высших животных она носит подчиненный характер, в то время как у микроорганизмов и растений является доминирующей или подчас единственной формой отражения, направленной на самосохранение.**

У растений это проявляется в направленности их роста в результате воздействия односторонних раздражителей (механических, физических, химических и др.), например, в сторону наиболее интенсивного освещения, в сторону земного притяжения. Это проявляется в движении отдельных органов растений (веток, лепестков, листьев) по направлению к благоприятным воздействиям внешних факторов - освещения, тепла, влаги, химических веществ.

В деревьях под воздействием света (солнца) формируются годовые кольца, запечатлевается радиоактивное воздействие. Ряд растений (цветы) отвечают на воздействие насекомых - свертываются и поедают их (например, росянка). У микроорганизмов (вирусы, амёбы, бактерии, инфузории, гидры и пр.) это проявляется в их свободном передвижении под влиянием односторонних раздражителей (химических, световых, температурных, электрических, механических и т.д.) по направлению к полезным раздражителям или от раздражителя, если он вреден для их жизнедеятельности, самосохранения.

В этом плане показательны многочисленные опыты И.П. Павлова с амёбой и росянкой (насекомоядным растением). Павлов наблюдал такую картину: когда амёба была сыта, она спокойно проплывала мимо водорослей. Если же была голодна, то подплывала к водорослям и потребляла их. На чашечку насекомоядного растения росянки ученый воздействовал различными мелкими предметами: кусочками бумаги, спичечного коробка и т.д. Росянка не реагировала. Как только попадало насекомое, растение тут же его захватывало и поедало.

В этом суть избирательной реакции: реагирование на биологически благоприятные и неблагоприятные раздражители в соответствии с потребностями организма;

б) **чувствительность животных.** Эта форма отражения появляется у животных с возникновением нервов и нервной системы - развитой или неразвитой (нервные волокна, нервные клетки, узлы, цепочки, сложная нервная система). Эта форма отражения заключается в способности животных чувствовать воздействие внешних факторов (тепла, холода, света, звука, запаха и т.д.), в способности преобразовывать это воздействие в виде элементарных ощущений (светоцветовых, звуковых, обонятельных), в реакции на внутренние, биологически заложенные факторы. **Данная форма отражения наиболее типично проявляется в безусловных и условных рефлексах.**

Безусловные рефлексы (в том числе инстинкты) - это врожденные акты поведения неосознанного характера, вызываемые воздействием внутренних и внешних раздражителей. Формируются они исторически и передаются по наследству, а не приобретаются. К ним относятся рефлексы:

- пищевые (добыча пищи, ее выслеживание, поимка, собирание и заготовка кормов и др.);
- защитные (сохранение особи - замирание, прятание, защита зубами, когтями, рогами и т.д.);
- половые (влечение, спаривание, токование птиц, призывы, изменение наряда и т.п.);

- родительские (забота о потомстве - строительство гнезд, нор, добыча пищи и кормление детенышей, их охрана).

Условные рефлексы - это приобретенные акты поведения. Они возникают при постоянно или многократно повторяющемся воздействии внешних раздражителей, не связанных с жизнедеятельностью организма, т.е. биологически нейтральных. Например, после звонка собаке дается пища. После многократных повторений у собаки после звонка выделяется желудочный сок и слюна, хотя пища может и не подаваться. В данном случае вырабатывается условный рефлекс на звонок - биологически нейтральный фактор. Но здесь важно подкрепление: нейтральный внешний раздражитель подкрепляется биологически необходимым фактором, в данном примере - пищей, иначе рефлекс не вырабатывается. Если подкрепление прекращается, условный рефлекс угасает и прекращает свое действие. Вся условно-рефлекторная деятельность является сигнальной: на основе образования временных связей многократные сигналы-раздражители выполняют роль предвестников о предстоящем наступлении биологически важного для организма акта;

в) психическое отражение высших животных. Эта форма присуща высшим животным, имеющим центральную нервную систему и осуществляющим высшую нервную деятельность. Этим животным свойственны раздражимость и чувствительность в виде безусловных и условных рефлексов, но у них уже появляется более высокая форма отражения в виде психических ощущений, восприятий и даже элементарных представлений.

Особую роль играет то обстоятельство, что нервная система высших животных не только развита, но и дифференцирована, т.е. в ходе длительной эволюции под воздействием внешних факторов сформировались органы чувств - зрения, слуха, осязания, вкуса, обоняния, а также то, что сформировались большие полушария мозга, кора этих полушарий. В результате **высшие животные уже не просто чувствуют воздействие неформленных и оформленных факторов среды, но под их воздействием в мозгу возникают соответствующие ощущения - зрительные, слуховые, осязательные и др. Более того, высшие животные способны воспринимать предметы в их целостности и даже обладают элементарными представлениями о предметах, которые животное**

воспринимало ранее (например, где находится корм или дом; собака с удовольствием по команде ищет мяч, с которым она привыкла играть, несет тапки хозяину или другим членам семьи и т.д.). **У этих животных возникает и элементарное зачаточное мышление.** Действия многих высших животных бывают настолько сложными и целенаправленными, что и человек поражается им. Бобры, например, строят под водой у берега хатки с входами и выходами, сооружают плотины для поддержания необходимого уровня воды у хаток, зубами «срезают» деревья, заготавливают впрок ветки, прокладывают каналы для транспортировки ветвей, строительного материала и т.д. Не случайно бобров называют «лесными инженерами», и вряд ли все это можно объяснить одними лишь инстинктами. **Это свидетельство довольно развитой психики животных.** А обезьяна способна выполнять и более сложные, более осмысленные операции, например заливать огонь, если он мешает ее доступу к пище. **И все же сознания у животных нет. Все их действия носят неосознанный характер, без предварительного целеполагания и проекта.**

Сознание появляется лишь на высшем - социальном уровне материи.

Третий уровень - социальная материя. Этой материи свойственны две основные формы отражения:

- а) **чувственная форма** в виде ощущений, восприятий и представлений, имеющих и у животных, но носящих у них неосознанный характер;
- б) **теоретическая форма отражения** в виде понятий, суждений, умозаключений, воображения, гипотез и т.д., совершенно отсутствующая у животных.

Учитывая, что физиологическая основа психики животных и сознания человека сходна, но **человек обладает сознанием, а животное нет,** возникает необходимость выяснить те коренные причины, которые привели к появлению **высшей формы отражения - сознанию человека.**

Выше было сказано, что **отражение есть свойство материальных систем в процессе взаимодействия воспроизводить особенности других систем.** Можно сказать, что **отражение есть результат взаимодействия объектов.** С простейшей формой отражения мы

встречаемся в неорганическом мире. Например, проводник нагревается и удлиняется, если он включен в электрическую цепь, окисляются металлы, находящиеся на воздухе, остается след на снегу, если прошел человек и т.п. **Это пассивное отражение.** Оно осуществляется в форме механических и физико-химических изменений.

По мере усложнения организации материи и появления жизни на Земле у простейших организмов, а также растений сформировалась способность “отвечать” на воздействие внешней среды и даже усваивать (перерабатывать) продукты этой среды (пример - насекомоядные растения). **Эта форма отражения называется раздражимостью.** Раздражимость характеризуется определенной избирательностью - простейший организм, растение, животное приспособливается к окружающей среде.

Прошли многие миллионы лет, прежде чем появилась способность ощущения, с помощью которого уже более высоко организованное живое существо на основе сформировавшихся органов чувств (слуха, зрения, осязания и др.) приобрело способность отражать отдельные свойства объектов - цвет, форму, температуру, мягкость, влажность и т.п. Это стало возможным потому, что у животных появился специальный аппарат (нервная система), который позволяет активизировать их отношения с окружающей средой.

Высшей формой отражения на уровне животного царства является восприятие, которое позволяет охватить объект в его целостности и полноте. Психика (как результат взаимодействия мозга с внешним миром) и психическая деятельность позволили животным не только приспособливаться к окружающей среде, но и в определенной мере проявлять внутреннюю активность по отношению к ней и даже изменять среду. **Возникновение психики у животных означает появление нематериальных процессов.** Как показали исследования, в основе психической деятельности лежат безусловные и условные рефлексы головного мозга. Цепь безусловных рефлексов является биологической предпосылкой формирования инстинктов. Наличие у животных ощущений, восприятий, “впечатлений”, “переживаний”, наличие элементарного (конкретного, “предметного”) мышления есть основа возникновения человеческого сознания.

Сознание - высшая форма отражения действительного мира; свойственная только людям и связанная с речью функция мозга,

закрывающаяся в обобщенном и целенаправленном отражении действительности, в предварительном мысленном построении действий и предвидении их результатов, в разумном регулировании и самоконтролировании поведения человека. “Ядром” сознания, способом его существования является знание. **Сознание принадлежит субъекту, человеку, а не окружающему миру.** Но содержанием сознания, содержанием мыслей человека является этот мир, те или иные его стороны, связи, законы. Поэтому **сознание можно охарактеризовать как субъективный образ объективного мира.**

Сознание это прежде всего осознание ближайшей чувственно воспринимаемой среды и осознание ограниченной связи с другими лицами и вещами, находящимися вне начинающего сознавать себя индивида ; в то же время оно - **осознание природы.**

Сознанию человека присущи такие стороны, как самосознание, самоанализ, самоконтроль. А они формируются лишь тогда, когда человек выделяет себя из окружающей среды. **Самосознание - важнейшее отличие психики человека от психики самых развитых представителей животного мира.**

Следует заметить, что отражение в неживой природе соответствует первым трем формам движения материи (механической, физической, химической) , отражение в живой природе - биологической форме, а сознание - социальной форме движения материи.

3.3. Формы биологического отражения

Элементарными формами отражения являются: механическое; физическое; химическое.

Особой формой отражения является **биологическое отражение.** Его специфика в том, что оно свойственно только живым организмом. С помощью биологического отражения живые организмы способны отражать как живую, так и неживую природу.

Формами биологического отражения (присущего живым организмам) являются: раздражимость; чувствительность; психическое отражение.

Раздражимость – простейшая форма биологического отражения – реакция живых организмов (даже растений) на предметы и явления окружающего мира (живого и неживого). Пример – высыхание, сворачивание листьев на жаре, изменение ими формы (возвращение в прежнее положение) после дождя, движение подсолнуха «за Солнцем».

Чувствительность – следующая, более высокая форма биологического отражения – способность живых организмов отражать окружающий мир в виде ощущений.

Психическое отражение – систематизация, осмысление ощущений, способность живых организмов (животных, особенно высших) моделировать поведение в целях приспособления к окружающей среде, многовариантно реагировать на возникающие стандартные и нестандартные ситуации, находить из них правильный выход.

Сознание – высшая форма биологического отражения. Присуще человеку и, частично, высшим животным. Сознание – наиболее полное отражение окружающего мира и его осмысление, способность к абстрагированию, рефлексии (получению новых мыслей благодаря мысли – то есть обращенности сознания на само себя – мышлению), способность к предметно-практической деятельности.

Развитие форм отражения материи рассматривается как генетическая предпосылка возникновения сознания.

Понятие отражения является фундаментальным философским понятием. Фундаментальный смысл оно имеет и для психологической науки. Введение понятия отражения в психологию в качестве исходного положило начало ее развитию на новой теоретической основе. С тех пор психология прошла длительный путь, на протяжении которого ее конкретно-научные представления развивались и изменялись; однако главное - подход к психике как субъективному образу объективной реальности - оставалось и остается в ней неизменным.

Психическое отражение не является зеркальным, механически пассивным копированием мира (как зеркало или фотоаппарат), оно сопряжено с поиском, выбором, в **психическом отражении поступающая информация подвергается специфической обработке, т.е. психическое отражение – это активное отражение**

мира в связи с какой-то необходимостью, с потребностями, это субъективное избирательное отражение объективного мира, так как принадлежит всегда субъекту, вне субъекта не существует, зависит от субъективных особенностей.

Психическое отражение характеризуется рядом особенностей: оно дает возможность правильно отражать окружающую действительность, причем правильность отражения подтверждается практикой; сам психический образ формируется в процессе активной деятельности человека; психическое отражение углубляется и совершенствуется; обеспечивает целесообразность поведения и деятельности; преломляется через индивидуальность человека; носит опережающий характер.

Формами биологического отражения (присущего живым организмам) являются:

раздражимость;

чувствительность;

психическое отражение.

Раздражимость – простейшая форма биологического отражения – реакция живых организмов (даже растений) на предметы и явления окружающего мира (живого и неживого). Пример – высыхание, сворачивание листьев на жаре, изменение ими формы (возвращение в прежнее положение) после дождя, движение подсолнуха «за Солнцем».

Чувствительность – следующая, более высокая форма биологического отражения – способность живых организмов отражать окружающий мир в виде ощущений.

Психическое отражение – систематизация, осмысление ощущений, способность живых организмов (животных, особенно высших) моделировать поведение в целях приспособления к окружающей среде, многовариантно реагировать на возникающие стандартные и нестандартные ситуации, находить из них правильный выход.

Сознание – высшая форма биологического отражения. Присуще человеку и, частично, высшим животным. Сознание – наиболее полное отражение окружающего мира и его осмысление, способность к абстрагированию, рефлексии (получению новых мыслей благодаря мысли – то есть обращенности сознания на само себя – мышлению), способность к предметно-практической деятельности.

Сознание человека отличается от сознания внешних животных:

большой глубиной;

большой способностью к предметно-практической (преобразующей) деятельности – труду;

способностью к абстракции (в том числе оторванному от непосредственной реальности мышлению);

возможностью передачи сознания (наличием особого механизма, отражающего и передающего мысли, - языка в устной и письменной формах).

3.4. Основные свойства человеческого сознания.

Главными свойствами человеческого сознания являются:

идеальность;

интенциональность;

идеаторность.

Идеальность – это особая, нематериальная сущность сознания. Идеальное сознание по своей природе:

противоположно материальному миру;

независимо от материи;

в некоторых случаях первично по отношению к материи;

неуловимо, непознаваемо с помощью материальных средств.

Это означает следующее.

Возникающие в голове образы сами не являются материей. Они лишены массы, запаха, неизменных размеров (сознание может «вмещать» в себя все – песчинку, маленький камень, автомобиль, небоскреб, океанский лайнер, планету). **Сознание, его образы – самостоятельная реальность, по сути, противоположная материи.** Сознание независимо от материи. В сознании возможно то, что невозможно в реальном мире (человек может представить все).

Сознание во многих случаях предшествует материи – точнее, матери, создаваемой, преобразуемой человеком. Например, при изготовлении любого предмета (авторучки, стола, листа бумаги и др.) в сознании всегда имеется замысел, «образ» данного предмета. Причем сознание человека способно создавать и с помощью деятельности человека и механизмов воплощать в жизнь не только простые, но и сложные замыслы (образы) – строить дворцы по проекту, собирать телевизоры, создавать самолеты, огромные океанские лайнеры, конструировать, собирать, запускать в космос ракеты, управлять на расстоянии космическим кораблем и т.д.

Сознание нельзя обнаружить с помощью материальных средств. До сих пор врачам, ученым не удавалось «увидеть», обнаружить само идеальное сознание, образы в мозгу другого человека. **Видна только анатомия, но не сознание.**

Интенциональность – направленность на предмет. Сознание не может быть беспредметным. Что-то всегда является предметом сознания.

Интенциональность сознания подразумевает наличие:

предмета сознания (что «видит» сознание);

формы (как оно воспринимает предмет).

Основными формами сознания являются:

восприятие;

осмысление;

оценка;

воспоминание;

фантазирование;

жизненный опыт.

Предметом сознания, в свою очередь, являются:

окружающий мир, его предметы, явления;

особый, самостоятельный духовный мир, как связанный с высшим миром, так и не связанный.

Идеаторность сознания – способность творить и воспроизводить идеи – внутренняя самостоятельная работа, выходящая за рамки простого отражения.

Способность вырабатывать абстрактные идеи – коренное отличие сознания человека от сознания животных. Результатом данной способности явилась выработка системы кодирования, передачи и распространения содержания сознания – языка.

Благодаря идеаторности стали возможными эволюция человечества и развитие, углубление самого сознания.

3.5. Отражение и информация.

Отражение есть всеобщее свойство материи, заключающееся в воспроизведении признаков, свойств и отношений отражаемого объекта. Способность к отражению, а также характер ее проявления зависят от уровня организации материи. Отражение в неорганической природе, в мире растений, животных и, наконец, человека выступает в качественно различных формах. Особым и неотъемлемым свойством отражения у живого организма являются раздражимость и чувствительность как специфическое свойство отражения, взаимодействий внешней и

внутренней среды в виде возбуждения и ответной избирательной реакции.

Любое отражение включает **информационный процесс**: оно есть информационное взаимодействие, одно оставляет о себе память в другом. Информация есть объективная сторона процессов природы и как таковая всеобща, что предполагает ее специфику в различных сферах реального мира - в неорганической природе, живых системах и социальных процессах.

Все в мире находится в непосредственном или удаляющемся в бесконечность опосредованном взаимодействии всего со всем - **все несет информацию обо всем**. Это предполагает универсальное информационное поле мироздания, которое является всеобщей формой связи, формой универсального взаимодействия и тем самым единства мира: **ведь все в мире “помнит” обо всем!** Это вытекает из принципа отражения как всеобщего свойства материи.

Отражение есть свойство материальных систем в процессе взаимодействия воспроизводить особенности других систем. Можно сказать, что **отражение есть результат взаимодействия объектов**. С простейшей формой отражения мы встречаемся в неорганическом мире. Например, проводник нагревается и удлиняется, если он включен в электрическую цепь, окисляются металлы, находящиеся на воздухе, остается след на снегу, если прошел человек и т.п. Это пассивное отражение. Оно осуществляется в форме механических и физико-химических изменений.

По мере усложнения организации материи и появления жизни на Земле у простейших организмов, а также растений сформировалась способность “отвечать” на воздействие внешней среды и даже усваивать (перерабатывать) продукты этой среды (пример - насекомоядные растения). Эта форма отражения называется раздражимостью. Раздражимость характеризуется определенной избирательностью - простейший организм, растение, животное приспосабливается к окружающей среде.

Прошли многие миллионы лет, прежде чем появилась способность ощущения, с помощью которого уже более высоко организованное живое существо на основе сформировавшихся органов чувств (слуха, зрения, осязания и др.) приобрело способность отражать отдельные свойства

объектов - цвет, форму, температуру, мягкость, влажность и т.п. Это стало возможным потому, что у животных появился специальный аппарат (нервная система), который позволяет активизировать их отношения с окружающей средой.

Высшей формой отражения на уровне животного царства является восприятие, которое позволяет охватить объект в его целостности и полноте. Психика (как результат взаимодействия мозга с внешним миром) и психическая деятельность позволили животным не только приспосабливаться к окружающей среде, но и в определенной мере проявлять внутреннюю активность по отношению к ней и даже изменять среду. Возникновение психики у животных означает появление нематериальных процессов. Как показали исследования, в основе психической деятельности лежат безусловные и условные рефлекс головного мозга. Цепь безусловных рефлексов является биологической предпосылкой формирования инстинктов. Наличие у животных ощущений, восприятий, “впечатлений”, “переживаний”, наличие элементарного (конкретного, “предметного”) мышления есть основа возникновения человеческого сознания.)

Эволюция основных форм отражения

В процессе развития и усложнения материальных систем исторически развивается и усложняется присущее им свойство **информационного отражения.**

1. В неорганической природе отражение проявляется в механических, физических, химических изменениях. С возникновением и развитием жизни появляются новые, более современные формы отражения.

2. Простейшей формой биологического отражения является раздражимость – активная реакция организма на внешние воздействия и условия окружающей среды. Раздражимость регулирует жизнедеятельность растений, простейших одноклеточных животных (губок, кораллов), которые отвечают на внешнее воздействие изменениями в протоплазме (внутреннее отражение) и перемещением в пространстве (внешнее отражение).

3. Следующий этап развития отражения – психика – связан с появлением животных, имеющих нервную систему и мозг. Психическое

отражение осуществляется с помощью органов чувств, обладающих особой раздражимостью и приспособленных к восприятию определенных воздействий (свет, звук и т.д.). На этапе психического отражения выделяют три основные формы:

а) **сенсорная** (лат. *sensus* – "чувство, ощущение") психика (черви, моллюски, насекомые): внешние раздражители выступают как сигналы, заключенная в них информация формирует ощущения (психические образы внешних раздражителей), которые побуждают животное к определенному, инстинктивному образу действия. На этом уровне формируются безусловные рефлексы;

б) **перцептивная** (лат. *perceptio* – "восприятие") психика у рыб, птиц, млекопитающих. Сложная нервная система – мозг – позволяет им накапливать индивидуальный опыт, воспринимая уже не отдельные ощущения, а их комплексы, целостность предметов, что делает их жизнедеятельность более гибкой, повышает их выживаемость. Здесь появляются уже условные рефлексы.

в) **оперативный интеллект** (предметное мышление) присущ только приматам. Они могут выполнять разнообразные операции с предметами как орудиями деятельности, решать сложные задания, если только они связаны с конкретными действиями и не требуют общих, абстрактных понятий. У обезьян развиты ориентировочно-исследовательские рефлексы.

Таким образом, в процессе развития различных форм отражения создаются необходимые предпосылки для возникновения высшей формы психического отражения – человеческого сознания.

Синтезируя современные определения отражения, можно предложить такой вариант: **«Отражение - атрибутивное свойство материи, характеризующееся переносом структуры одной системы в другую систему в процессе их взаимодействия».**

Отражение не только связано с эволюцией материи – оно лежит в фундаменте этой эволюции. Так как фундаментальным атрибутом материи является движение, проследить сопряженную эволюцию материи и форм отражения можно на пути анализа эволюции форм движения и

взаимодействия.

Здесь пригодится уже рассмотренная классификация Ф.Энгельса.

Исходная форма отражения – механическая, связанное с переносом из одной системы в другую моментов пространственной структуры. Например, след, оставленный метеоритом в почве, любой отпечаток, царапина. Ясно, что как и механическое движение данная форма отражения не представляет собой нечто самостоятельно существующее. Механическая форма отражения - явленческий уровень других, более сложных форм. Такой является, прежде всего, физическая форма отражения, выступающая, с позиций современной космогонии и космологии основанием всей дальнейшей эволюции Метагалактики. Перенос физической организации нельзя редуцировать к обмену пространственной структурой. Здесь имеет место взаимообмен моментами пространственно-временного континуума. **Это и процессы превращения энергии, и обмен одним из видов энергии (например, теплообмен), и явление электромагнитной индукции и все другие процессы.**

Запись фильма на CD диск являет собой пример многократного физического отражения с переходом с аналоговой на цифровую систему кодирования и преобразования сигнала, отражающего сложную пространственно-временную структуру изображения и звука, которые сами являются отражением пространственно-временной организации снятых в фильме процессов.

Химическая форма отражения, базируясь на физической, представлена переносом более сложной структуры взаимодействия. Например, углеводородные соединения, представляют взаимный перенос пространственной структуры реагентов. Так, основной стереохимической характеристикой макромолекул полимеров является конфигурация — полное пространственное распределение атомов, образующих такую макромолекулу. Та или иная пространственная конфигурация (структура) определяет свойство полимера.

Биологическая форма отражения, включает в себя все предшествующие и опирается на их, но представляет качественно новый уровень развития материи.

Исходной разновидностью биологического отражения является

раздражимость – избирательное реагирование на свойства внешней среды. Раздражимость проявляется в тропизме растений – перемещении их под воздействием света, звука и других раздражителей. Для микроорганизмов раздражимость – это фототаксис (перемещение под воздействием света) и хемотаксис (реакция на химическое воздействие). Все виды раздражимости отличаются от предшествующих форм отражения тем, что раздражимость – всегда приспособительная, адаптивная реакция, а не пассивное восприятие и сохранение некоторой внешней структуры. Отражение для живого – это целенаправленное изменение структуры функционирования под воздействием элементов организации (структур) внешней среды. Может быть, это и есть одно из отличительных особенностей живого.

Более высокие формы отражения для живого являются общими для человека и животных и по механизму и, во многом, по содержанию и характеру передаваемой структурной организации. Это: ощущение, восприятие и представление. У человека эти формы приобретают новое качество, соединяясь с высшей формой отражения – мышлением. Именно эта связь преобразует формы отражения в формы чувственного познания. В связи с этим, мы рассмотрим их несколько ниже.

Различные формы отражения не только строго субординированы в отношении друг друга, но и неразрывно связаны – высшее возникает только на основе низшего и включает в себя это низшее в преобразованном виде. Поэтому высшие и низшие уровни организации материи постоянно взаимодействуют с взаимным отражением – переносом структур.

Синтетическая теория эволюции изобилует примерами отражения, переноса структуры из абиотического (неживой природы) в биологическое и взаимотражения биологических видов в процессе сопряженной эволюции.

Открытие Ч. Дарвином механизма органической эволюции показало, что по существу вся эволюция есть адаптиогенез (адаптиогенез) - **возникновение, развитие и преобразование приспособлений (адаптаций) в процессе эволюции органического мира. Любой признак организации является адаптивным.** Конечности наземных позвоночных животных имеют самое различное строение вследствие приспособления к бегу, рытью, плаванию или полёту, **но основа**

строения конечностей одна и та же — сложный рычаг.

Биологические изменения подготовили и создали основу для изменений в формах отражения.

Долгий путь развития через адаптацию и отбор привел к появлению *Homo sapiens* – существа мыслящего, человека. В происхождении человека, а следовательно, и в происхождении высшей формы отражения – мышления все исследователи выделяют два уровня детерминации – 1) природно-биологический, 2) социальный.

Мы не можем сегодня переместиться в начало человеческой истории, а факты археологии и палеоантропологии для этого периода очень скудны.

Однако, еще в XIX в. немецкий ученый Эрнст Геккель (1834 —1919) открыл биогенетический закон, состоящий в том, что индивидуальное развитие особи (онтогенез) является коротким и быстрым повторением (рекапитуляцией) важнейших этапов эволюции вида (филогенеза). Это обстоятельство позволяет рассматривать развитие человеческого индивида как модель становления человечества.

Используя этот метод, можно выявить следующие биологические детерминанты родового развития человечества:

1. Переход к прямохождению и высвобождение рук;
2. Использование в основном мясной пищи;
3. Увеличение объема мозга и изменение (за счет использования мясной пищи) его биохимической структуры.

Человеческое сообщество биологически относится к виду человек разумный (*Homo sapiens*), роду человек (*Homo*), семейству гоминид (*Hominidae*), отряду приматов (*Primates*), классу млекопитающих (*Mammalia*), типу хордовых (*Chordata*). С животным миром человека объединяет соответствующие семейство, отряд, класс и тип. Однако видородовые признаки *Homo sapiens* приобретены им благодаря трем

указанным выше анатомо-физиологическим изменениям.

Воспроизводятся они и в процессе онтогенеза – развития каждого ребенка.

Если, например, происходит сбой или задержка в нейрофизиологическом развитии, то интеллектуальные качества такого ребенка при всех усилиях медиков и педагогов будут оставлять желать лучшего. Особенно тяжелые последствия в становлении интеллектуальной деятельности дают генетические мутации. Так одна из форм врожденного слабоумия — болезнь Дауна имеет своей основой аномалию хромосомного набора. У страдающих этой болезнью количество хромосом в клетках 47 вместо 46 (3 вместо 2 хромосом 21-й пары). Однако вполне здоровый ребенок, попавший с грудного возраста на воспитание к животным (как, например, две индийские девочки Амала и Камала в 30-е годы XX века) с определенного времени не только не становится существом мыслящим, но и приобретает необратимые изменения психики, не позволяющие никакими методами «сделать» из него человека.

Противоположный случай – взрослый здоровый и здравомыслящий человек попадает на необитаемый остров (в былые времена это было часто практикуемым видом наказания для моряков). Дальнейшая судьба этого «Робинзона», если его вскоре не освободят, не вернут в общество, трагична – либо голодная смерть, либо одичание, потеря человеческого облика и сознания. Из второго состояния также нет пути назад, как и у детей, воспитанных волками и другими животными.

Приведенные примеры показывают, что биологические предпосылки необходимы, но не достаточны для становления сознания. Помимо них в формировании как отдельного человека, так и в филогенезе общества важнейшим моментом является социальная детерминация. Основопологающим началом последней является труд – целенаправленная, совместная, связанная с постоянным использованием специально созданных орудий, деятельность людей. Труд обеспечил:

1. Разделение функций между руками и ногами;
2. Развитие органов речи и ее становление, появление языка;

3. Постепенное превращении мозга животного в развитый мозг человека;
4. Совершенствовании его органов чувств, адаптация их к характеру трудовой деятельности.
5. Переход от преимущественно эмоционально-образного отражения мира к рациональному его отражению, к мышлению.

И сегодня характер деятельности, в которую включены группы людей или отдельный человек формируют их сознание, развивают в определенном направлении их мышление и язык. Труд не только создал первых людей, он и всегда был и будет не только основой жизни общества, но и главным детерминантом общественного и индивидуального сознания. Даже поверхностное знакомство с представителями различных сфер человеческой деятельности убеждает в истинности сказанного.

Таким образом при рассмотрении достаточно сложной системы детерминаций процесса становления человека необходимо учитывать нерасторжимое единство природно-биологических и социальных факторов этого процесса. Если природно-биологические основания уже существуют, дальнейшее развитие сознания определяется обществом. Какова социальная среда, такова и выросшая в ней, воспитанная данным сообществом личность, тип ее сознания. Яркий пример этому история с французским этнографом Жаном Велларом. В 1938 году, в Парагвае, на стоянке гуайкалов, принадлежащих к наиболее отсталым племенам аборигенов, Веллар обнаружил брошенную годовалую девочку. Она была, видимо, больна (что и послужило основанием для племени оставить ребенка на произвол судьбы). Веллар привез девочку в Париж, вылечил и отдал на воспитание матери. Через тридцать лет Жанна Веллар (так называли девочку по приемному отцу) была уже этнографом с мировым именем, дважды доктором наук, владеющим всеми европейскими языками. Так проявилась роль социальной среды и характера деятельности в становлении сознания.

Главной «визитной карточкой» любого человека является его **язык - непосредственная действительность мысли**. Язык не только явленческая сторона мышления. Он оказывает на мышление мощное обратное воздействие, и, выступая необходимым инструментом деятельности, весьма активен по отношению и ко всем формам труда.

В самом общем виде **язык** – знаковая система любой физической природы, выполняющая когнитивную (познавательную) и коммуникативную (общения) функции в процессе человеческой деятельности.

В процессе отражения человеком окружающего мира язык выступает заключительным этапом. Исходный пункт этого процесса – отражение предметов и процессов объективной реальности в ощущениях, восприятиях и представлениях. Далее следует обработка в мышлении накопленных памятью представлений продуктом чего является опорный элемент мышления – понятие. **Оперирование понятиями невозможно если каждое понятие не фиксируется каким-либо словом (группой слов).**

Следует различать понятие – мысль отражающая существенно-общие характеристики определенного класса моментов действительности и **слово, являющееся элементом не мысли, а языка и выступающая знаком понятия.**

Слово, как и всякий знак ничего не отражает, а лишь фиксирует в материальном субстрате некоторый идеальный образ. Одно и то же понятие может быть представлено в языке разными словами-синонимами. Существенные различия между языками разных народов состоят именно в том, что одинаковым понятиям в них соответствуют разные слова-знаки. Если бы различие было в понятиях, то никакой перевод (скажем, древнеегипетских папирусов) был бы невозможен. Не возможно было бы и понимание.

Но люди живут в одном мире, развивающимся по один и тем же законам, обладающим одними и теми же атрибутами. Действующие в обществе законы общественного развития те же, что и действующие законы физики, химии и биологии, ибо общество – продукт естественного развития природы. Поэтому-то и **понятийный аппарат, используемый людьми, принадлежащими разным эпохам, народам, географическим зонам в основе своей однотипен.**

Различные языки отличаются друг от друга характером составляющих их знаков. Всякий знак принадлежит объективной реальности (в противном случае он не был бы доступен ощущению). Чаще всего это звук, множество знаков связаны со зрением (знаки письменной речи, морские сигнальные знаки, дорожные знаки, стиль одежды и украшения), реже мы

используем знаки, воздействующие на тактильные (кожные) ощущения (знаки-прикосновения), на обоняние — знаки-запахи (например, духи) или на вкус (например, дарение чего-то вкусного ребенку, как знак любви).

Знаком может быть все, что может регистрироваться чувствами человека.

Знак – это любое объективно-реальное свойство, действие, вещь, процесс, способное воздействовать на органы чувств человека и выступающее в качестве указания, обозначения или представителя другого свойства, действия, вещи, процесса объективной или субъективной реальности.

Подчеркнем отмеченное обстоятельство – знак всегда принадлежит объективной реальности, но обозначает он нередко и субъективную реальность. Например слова «ощущение», «восприятие», «представление», «понятие», «мысль» и т.п. обозначают элементы сознания или само сознание, и потому обозначают субъективную реальность.

Моменты объективной реальности становятся знаками только в знаковой ситуации. Знаковая ситуация включает в себя условную связь (осуществляющуюся только в сознании людей) между:

- 1) обозначаемым и знаком (в этом отношении нечто наделяется значением, т.е. становится знаком);
- 2) данным знаком и другими знаками в составе определенной системы (языка);
- 3) между людьми при помощи знака (вместо предъявления обозначаемого предъявляют его знак).

Например, в знаменитом советском телесериале «Семнадцать мгновений весны», провал явочной квартиры обозначается цветком на окне, выполняющим роль знака. Профессор Плешнер забывает значение цветка как знака и утрачивает, тем самым, связь с людьми, оставившими ему эту информацию.

Существенное различие языков определяется не тем, на какой орган ощущения они воздействуют, а характером составляющих их знаков, прежде всего, степенью абстрагирования знаков от обозначаемого.

В этом отношении различают:

I. Иконические знаки – знаки-подобия, сохраняющие изоморфное подобие обозначаемому (изоморфное подобие для знака связано с ситуацией, в которой каждому элементу, моменту структуры, обозначаемого соответствует элемент знака). Иконические знаки обладают наименьшей степенью абстрактности и потому составляют многие естественные языки. Язык древнейших людей представлял собой систему, включающую, прежде всего, иконические знаки. В этом древний язык был близок языку животных, явно имел с ним генетическую связь.

Иконическими являются следующие знаки:

1. С использованием зрения: фотографии, рисунки, живописные изображения (конечно, не в стиле абстракционизма или постмодернизма).

2. С использованием слуха: знаки – звуковые подобия звуков, сопровождающих различные процессы в живой и неживой природе. Любая копия таких звуков - от подражания (что особенно было важным для первобытного человека), до записи природных шумов на лазерном диске, являются примерами звукового иконического знака.

3. С использованием вкусовых анализаторов: любое вкусовое ощущение-копия. Например, добавка специальных эссенций в напитки, после чего они воспринимаются как «грушевый», «виноградный», «яблочный» и т.п.

4. С использованием обоняния: иконическим знаком здесь будут естественные природные запахи, издаваемые растениями, животными или сопровождающие какие-то химические реакции, а также те же запахи специально синтезированные и внедренные в материал другой природы. Последнее часто применяется в пищевом и парфюмерном производстве.

5. С использованием осязания: все рельефные изображения, осязаемые формы различных предметов и процессов живой и неживой природы. Например, объемные изображения вещей, людей, животных и растений, используемые в формировании сознания у слепых, а в особенности у слепоглухонемых детей, для которых осязание является единственным

каналом связи с внешним миром.

II. Схематические знаки — знаки-схемы, имеющие гомоморфное подобие с обозначаемым (гомоморфное подобие связано с соответствием одного элемента знака нескольким элементам (моментам структуры) обозначаемого.

Схематические знаки представляют собой более высокий уровень абстрактности мышления тех, кто использует их в речи. Любая схема, чертеж, карта местности представляют пример схематического знака. Он используется при

применении всех указанных выше чувственных анализаторов. Поэтому можно привести множество примеров использования схематических знаков в языке жестов, звуковых схем — частичных подобий обозначаемым звукам или мелодиям, осязаемых схематических изображений или частичных подобий — схем-запахов.

III. Символические знаки — знаки лишенные какого-либо подобия обозначаемому и связанные с последним только за счет знаковой ситуации. Сегодняшний язык, как бытовой так и любой профессиональный — всегда система, представляющее единство символических знаков. Такой язык представляет наивысшую степень абстрагирования от непосредственно данного, отражаемого в ощущениях, современного мышления.

Практически любое слово современного языка — пример символического знака. Чем, например, подобно слово «стол» любому конкретному столу?

Символический язык усугубляет разрыв между чувственным и рациональным отражением и познанием, а также между мышлением и языком. На этой основе создано и создается множество субъективно-идеалистических концепций, осуществляющих либо отрыв и абсолютизацию мыслительных процессов, либо идеализацию и фетишизацию языка.

Человеческий язык, состоя с языком животных в «кровном родстве» качественно отличается от него именно высокой степенью абстрагирования. Язык животных представляет набор сигналов, передающих реакции на ситуации и регулирующих поведение животных

в определённых условиях. Сообщение животных может быть основано только на непосредственном опыте. Оно неразложимо на различительные элементы и не требует речевого ответа: **реакцией на него служит определённый образ действий.**

Напротив, человеческий язык основан на диалоге и сохраняет эту основу во всех своих конкретных видах и формах.

Подводя некоторый итог, можно определить сознание как свойство высокоорганизованных материальных систем отражать существенно-общие характеристики внешней среды, и, на этой основе, целенаправленно осуществлять управление и регулирование взаимодействия с этой средой.

Сознание неразрывно связано с познанием, поэтому уточнение существенных моментов сознания должно производиться как выяснение основных этапов, принципов и форм познания.

4. Базовые группы отображений истин и информации

Ранее мы рассмотрели такие базовые образования как истина и отражение. Рассмотрим базовые группы отображений истин и информации.

4.1. Восприятия

4.1.1. Уровни перцептивного восприятия

Выделяют четыре операции или **четыре уровня перцептивного действия: обнаружение, различение, идентификация и опознание.** Первые два относятся к перцептивным, последние — к опознавательным действиям.

Обнаружение — исходная фаза развития любого сенсорного процесса. На этой стадии субъект может ответить лишь на простой

вопрос, есть ли стимул. Следующая операция восприятия — **различение**, или собственно восприятие. **Конечный результат её — формирование перцептивного образа эталона.** При этом развитие перцептивного действия идёт по линии выделения специфического сенсорного содержания в соответствии с особенностями предъявляемого материала и стоящей перед субъектом задачи.

Когда перцептивный образ сформирован, возможно осуществление **опознавательного действия.** Для опознания обязательны **сличение и идентификация.**

Идентификация есть отождествление непосредственно воспринимаемого объекта с образом, хранящимся в памяти, или отождествление двух одновременно воспринимаемых объектов. **Опознание** включает также категоризацию (отнесение объекта к определённом классу объектов, воспринимавшихся ранее) и извлечение соответствующего эталона из памяти.

4.1.2. Свойства восприятия

- **Предметность** — объекты воспринимаются не как бессвязный набор ощущений, а как образы, составляющие конкретные предметы.
- **Структурность** — предмет воспринимается сознанием уже в качестве абстрагированной от ощущений смоделированной структуры.
- **Апперцептивность** — на восприятие оказывает влияние общее содержание психики человека.
- **Константность** — постоянство восприятия одного и того же дистального объекта при изменении проксимального стимула. (**Дистальный стимул (Дистальный объект)** — наряду с проксимальным стимулом и перцепцией используется для описания восприятия. Дистальный стимул является источником проксимального стимула. **Проксимальный стимул** представляет собой **отражение рецепторами информации, порожденной дистальным стимулом, или активность нейронов в результате чувственной трансдукции физического**

стимула. Ментальное отражение дистального стимула в мозге воспринимающего лица называется **восприятием (перцепцией)**. Например, когда человек наблюдает собаку, сама собака является дистальным стимулом, свет отражающийся от собаки и проецирующийся на рецепторы сетчатки глаза, другие сигналы исходящие от объекта (звук, запах и т. п.) — проксимальным стимулом, образ собаки воссоздающийся в мозге — восприятие (перцепция).

- **Избирательность** — преимущественное выделение одних объектов по сравнению с другими.
- **Осмысленность** — предмет сознательно воспринимается, мысленно называется (связывается с определённой категорией), относится к определённому классу.

Осмысление состоит из этапов:

1. **Селекция** — выделение из потока информации объекта восприятия
2. **Организация** — объект идентифицируется по комплексу признаков
3. **Категоризация** и приписывание объекту свойств объектов этого класса

4.1.3. Константность восприятия

Константность — постоянство восприятия одного и того же дистального объекта при изменении проксимального стимула, **способность распознавать один и тот же объект на основе различающейся сенсорной информации (ощущений)**. Воспринимаемый в различных обстоятельствах и условиях объект рассматривается как один и тот же. Так, яркость объекта как величина характеризующая отражённый свет изменяется если переместить его из слабо освещённой комнаты в комнату с хорошим освещением. Тем не менее объект при изменении проксимальной стимульной информации в обоих случаях рассматривается как один и тот же. Можно выделить **константность таких свойств объекта как размер, форма, яркость, цвет**. Константность восприятия формы исследуется на установке, основными элементами которой являются квадрат-эталон (со стороной 10 см) и прямоугольник-измеритель (шириной 10 см). Квадрат-эталон всегда в

опыте наклонён к наблюдателю, а плоскость прямоугольника-измерителя должна быть перпендикулярна оси зрения испытуемого. Высота прямоугольника-измерителя может изменяться испытуемым с помощью специальной кнопки. Испытуемого просят подобрать такую высоту прямоугольника-измерителя, чтобы он имел ту же видимую форму, что и наклонённый квадрат-эталон. В опыте варьируется наклон квадрата-эталона (25°, 30°, 35° и 40°). Для каждого значения наклона эталона испытуемый четыре раза подравнивает высоту измерителя. Таким образом получают данные для вычисления **коэффициента константности**.

Константность восприятия **измеряется коэффициентом константности** по формуле Брунсвика — Таулесса:

$$K = \frac{V - P}{R - P}$$

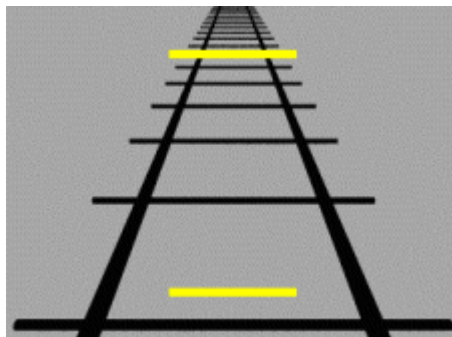
где V — высота прямоугольника-измерителя, которую установил испытуемый в стремлении подравнять видимые формы измерителя и эталона, R — высота квадрата эталона, $P = R \cdot \cos \alpha$, где α — угол наклона квадрата-эталона.

Константность восприятия формы в опытах с инверсией поля зрения с помощью инвертоскопа падает до нуля, а в процессе адаптации восстанавливается, достигая доэкспериментального уровня. Эксперименты с инверсией поля зрения человека проводятся для исследования механизмов константности зрительного восприятия.

Одно из объяснений константности восприятия основывается на различии восприятия и **чувствительности (ощущения)**. Восприятие действительных свойств объектов это субъективный психический процесс связывающий ощущения (чувственный опыт) свойств объекта с другой стимульной информацией.

Так свойство размера объекта связывается с расстоянием до объекта, яркость объекта связывается с освещенностью. Субъективный психический процесс восприятия, который позволяет человеку признавать объект одним и тем же даже если он располагается на разном расстоянии от него (у объекта в таком случае различный угловой размер — если он на большом расстоянии — малый угловой размер, если

на маленьком расстоянии — большой угловой размер) в некоторых случаях сопровождается «регрессом к действительным объектам». Примером регресса к действительным объектам как следствия константности восприятия являются оптические иллюзии. Так иллюзия Понцо показывает, как осуществляемая восприятием регрессия к действительным объектам, которые располагаются в трехмерном мире, в случае с двухмерным объектом — рисунком — заставляет человека воспринимать горизонтальный отрезок у сходящихся концов вертикальных линий как более длинный, чем отрезок, расположенный у расходящихся концов тех же вертикальных линий, как будто последний расположен «ближе» к наблюдателю.



Пример иллюзии Понцо. Обе горизонтальные линии имеют одинаковый размер.

4.1.4. Факторы восприятия

Внешние

- размер
- интенсивность (в физическом или эмоциональном плане)
- контрастность (противоречие с окружением)
- движение
- повторяемость
- новизна и узнаваемость

Внутренние

- стереотипность восприятия, установка восприятия: ожидание увидеть то, что должно быть увидено по прошлому опыту
- потребности и мотивация: человек видит то, в чём нуждается или что считает важным
- опыт: человек воспринимает тот аспект стимула, которому научен прошлым опытом
- я-концепция: восприятие мира группируется вокруг восприятия себя
- личностные особенности: оптимисты видят мир и события в позитивном свете, пессимисты, напротив, — в неблагоприятном

Три механизма селективности восприятия:

- принцип резонанса — соответствующее потребностям и ценностям личности воспринимается быстрее, чем несоответствующее
- принцип защиты — противостоящее ожиданиям человека воспринимается хуже
- принцип настороженности — угрожающее психике человека распознаётся быстрее прочего

4.1.5. Формы и принципы восприятия

- Фигура — фон — восприятие выделяет фигуру из фона.
- Константность — объекты длительное время воспринимаются одинаково.
- Группировка — однообразные стимулы группируются в структуры.

Принципы группировки:

- Близость — расположенное рядом воспринимается вместе.
- Подobie — схожее по каким-то признакам воспринимается вместе.
- Замкнутость — человек склонен заполнять пробелы в фигуре.
- Целостность — человек склонен видеть непрерывные формы, а не сложные комбинации.

- Смежность — близкое во времени и пространстве воспринимается как одно.
- Общая зона — стимулы, выявленные в одной зоне воспринимаются как группа.

4.1.6. Результат восприятия

Результатом процесса восприятия становится построенный образ.

Образ — субъективное видение реального мира, воспринимаемого при помощи органов чувств.

Получив образ, человек (или другой субъект) производит *определение ситуации*, то есть оценивает её, после чего принимает решение о своём поведении.

Восприятие в зоопсихологии

Восприятие присуще главным образом высшим живым существам; в слабых формах, позволяющих говорить лишь о зачатках восприятия, нечто подобное можно обнаружить у существ средних стадий эволюции.

Согласно теории Леонтьева, восприятие развилось в результате перехода от гомогенной среды обитания к предметно выраженной.

Восприятие в теории психики

Восприятие — одна из психических функций, сложный процесс приёма и преобразования сенсорной информации, формирующий субъективный целостный образ объекта, воздействующего на анализаторы через совокупность ощущений, инициируемых данным объектом.

Как форма чувственного отражения предмета, восприятие включает обнаружение объекта как целого, различение отдельных признаков в объекте, **выделение в нём информативного содержания, адекватного цели действия**, формирование чувственного образа.

Если ощущения отражают лишь отдельные свойства предметов, то синтез

множества ощущений объекта создаёт целостную картину, в которой в качестве **единицы взаимодействия** **представлен весь предмет, в совокупности его свойств**. Эта картина называется субъективным восприятием объекта.

Социальное восприятие

Социальное восприятие — восприятие, направленное на создание представления о себе, других людях, социальных группах и социальных явлениях.

Термин был предложен Джеромом Брунером в 1947 году для обозначения феноменов социальной детерминации процессов восприятия. Современная трактовка термина была дана в рамках социальной психологии.

К механизмам социальной перцепции относят: рефлексю, идентификацию, каузальную атрибуцию.

4.1.7. Эффекты восприятия

Социальному восприятию присущи некоторые особенные проявления неточности восприятия, называемые законами, эффектами или ошибками восприятия.

- Эффекты стереотипизации:
 - Галоэффект (эффект ореола, эффект нимба или рога) — общее благоприятное или неблагоприятное мнение о человеке переносится на его неизвестные черты.
 - Эффекты последовательности:
 - Эффект первичности (эффект первого впечатления, эффект знакомства) — первая информация переоценивается по отношению к последующей.
 - Эффект новизны — новой информации о неожиданном поведении хорошо знакомого, близкого человека придаётся большее значение, чем всей информации,

полученной о нём ранее.

- Эффект роли — поведение, определяемое ролевыми функциями, принимается за личностную особенность.
- Эффект присутствия — чем лучше человек чем-то владеет, тем лучше он делает это на глазах у окружающих, чем в одиночестве.
- Эффект авансирования — к разочарованию приводит отсутствие приписываемых ранее несуществующих достоинств.
- Эффект снисходительности — руководитель гипертрофирует позитивные черты подчинённых и недооценивает негативные (характерно для руководителя попустительского и, в какой-то мере, демократического стиля).
- Эффект гипervзыскательности — руководитель гипертрофирует негативные черты подчинённых и недооценивает позитивные (характерно для руководителя авторитарного стиля).
- Эффект физиогномической редукции — вывод о присутствии психологической характеристики делается на основе черт внешности.
- Эффект красоты — внешне более привлекательному человеку приписывается больше положительных черт.
- Эффект ожидания — ожидая от человека определённой реакции, мы провоцируем его на неё.
- Внутригрупповой фаворитизм — «свои» кажутся лучше.
 - Эффект отрицательной асимметрии начальной самооценки — во времени есть тенденция к противоположному внутригрупповому фаворитизму.
- Презумпция взаимности — человек считает, что «другой» относится к нему так, как он относится к «другому».
- Феномен предположения о сходстве — человек считает, что «свои» относятся к остальным людям так же, как он.
- Эффект проекции — человек исходит из того, что другие обладают такими же качествами, как он.
- Феномен игнорирования информационной ценности неслучившегося — информация о том, что могло бы произойти, но не произошло, игнорируется.

4.1.8. Атрибуция

Атрибуция — приписывание характеристик себе или другому человеку.

Под каузальной атрибуцией понимают интерпретацию поведения партнера по общению путем выдвижения предположений о его мотивах, намерениях, эмоциях, причинах поведения, качествах личности с последующим их приписыванием партнеру. Каузальная атрибуция тем больше определяет социальную перцепцию (восприятие), чем больше дефицит информации о партнере по общению. Результаты приписывания могут стать материалом для формирования социальных стереотипов. Стереотипизация восприятия приводит к двум различным следствиям. Во-первых, к упрощению познания другого человека (людей). Во-вторых, к формированию предубеждений по отношению к представителям различных социальных групп (профессиональных, социо-экономических, этнических и т. д.)

4.1.9. Впечатление

Впечатление — мнение, оценка, сложившиеся после знакомства, соприкосновения с кем-чем-нибудь.

Формирование впечатления

Формирование впечатления — процесс создания своих впечатлений о других.

Впечатления составляют:

- Образцы поведения
- Абстракции

Управление впечатлениями

Управление впечатлениями — поведение, направленное на формирование и контроль за впечатлением о себе других людей.

Тактики управления впечатлением:

- Усиление собственной позиции

- Усиление позиции собеседника

Самопрезентация — поведение, направленное на создание благоприятного или соответствующего чьим-то идеалам впечатления о себе.

Согласно данным исследования Гордона, произведённого в 1996 году, уровень успешности тактик управления впечатлением распределяется следующим образом:

1. Представление собеседника в лучшем свете
2. Согласие с мнением собеседника.
3. Самопрезентация
4. Комбинация 1-3
5. Оказание услуг

4.2. Соответствия

4.2.1. Упорядоченное множество

Наряду с понятием множества как совокупности элементов важным понятием является понятие упорядоченного множества или кортежа. *Кортежом* называется последовательность элементов, т. е. совокупность элементов, в которой каждый элемент занимает определенное место. Сами элементы при этом называются компонентами кортежа (первая компонента, вторая компонента и т. д.). Примеры кортежей: множество людей, стоящих в очереди; множество слов в фразе; числа, выражающие долготу и широту точки на местности, и т. п. Во всех этих множествах место каждого элемента является вполне определенным и не может быть произвольно изменено.

В технических задачах эта определенность часто является просто предметом договоренности. Так, только договоренностью можно объяснить, почему долготу ставят на первое место, а широту на второе. Состояние кибернетической системы часто описывают множеством параметров, принимающих числовые значения. При этом **состояние системы** — просто некоторое множество чисел. Чтобы не оговаривать каждый раз, какое число что означает, устанавливают заранее, какой параметр считать первым, какой вторым и т. д., т. е. совокупность параметров представляют в виде упорядоченного множества. Так, если обозначить через h высоту самолета, а через v — его скорость, то кортеж

$x=(h, v)$ будет описывать состояние самолета.

Число элементов кортежа называется его длиной. Для обозначения кортежа используем круглые скобки. Так, множество

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_n) \quad (1)$$

является кортежем длины n с элементами a_1, \dots, a_n . Кортежи длины 2 называются парами или упорядоченными парами, кортежи длины 3 — тройками, 4 — четверками и т. д. В общем случае кортежи длины n называются n -ками. Частным случаем кортежа является кортеж (a) длины 1 и пустой кортеж длины 0, обозначаемый $()$ или Λ . В отличие от обычного множества в кортеже могут быть и одинаковые элементы: два одинаковых слова в фразе, одинаковые числовые значения долготы и широты точки на местности и т. п.

В дальнейшем будем рассматривать упорядоченные множества, элементами которых являются вещественные числа. Такие упорядоченные множества называют точками пространства или векторами. Так, кортеж (a_1, a_2) может рассматриваться как точка на плоскости или вектор, проведенный из начала координат в данную точку (рис. 1,а). Компоненты a_1 и a_2 будут проекциями вектора на оси 1 и 2

$$\text{Пр}_1(a_1, a_2) = a_1; \quad \text{Пр}_2(a_1, a_2) = a_2.$$

Кортеж (a_1, a_2, a_3) может рассматриваться как точка в трехмерном пространстве или как трехмерный вектор, проведенный изначала координат в эту точку (рис. 1,б). Проекция вектора на оси координат

$$\text{Пр}_i(a_1, a_2, a_3) = a_i, \quad i = 1, 2, 3,$$

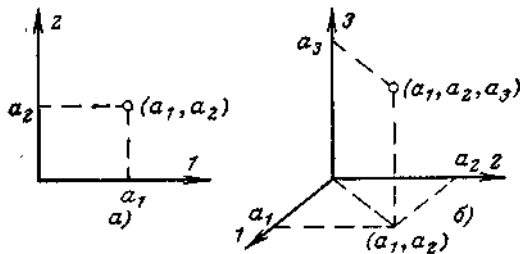


Рис. 1. Проекция двух- и трехэлементного кортежа.

Однако в данном случае можно говорить о проекции кортежа сразу на две оси, например 1 и 2, т. е. на координатную плоскость. Нетрудно видеть, что эта проекция представляет собой двухэлементный кортеж

$$\text{Пр}_{12}(a_1, a_2, a_3) = (a_1, a_2).$$

Обобщая эти понятия, будем рассматривать упорядоченное n -элементное множество вещественных чисел (a_1, \dots, a_n) как точку в воображаемом

n -мерном пространстве, называемом иногда гиперпространством, или как n -мерный вектор. При этом компоненты n -элементного кортежа a будем рассматривать как проекции этого кортежа на соответствующие оси

$$\text{Пр}_i a = a_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Используемая здесь и далее запись $i = \overline{1, n}$ означает перечисление $i = 1, \dots, n$.

Если i, j, \dots, l — номера осей, причем $1 \leq i < j < \dots < l \leq n$, то проекция кортежа a на оси i, j, \dots, l равна:

$$\text{Пр}_{i,j,\dots,l} a = (a_i, a_j, \dots, a_l). \quad (3)$$

4.2.2. Прямое произведение множеств

Прямым произведением множеств X и Y называется множество, обозначаемое $X \times Y$ и состоящее из всех тех и только тех упорядоченных пар, первая компонента которых принадлежит множеству X , а вторая принадлежит множеству Y . Таким образом, элементами прямого произведения являются двухэлементные кортежи вида (x, y) . Формальное определение

$$X \times Y = \{(x, y) \mid x \in X, y \in Y\}. \quad (4)$$

Пример 1. Пусть $X = \{1, 2\}$, $Y = \{1, 3, 4\}$. Тогда $X \times Y = \{(1, 1), (1, 3), (1, 4), (2, 1), (2, 3), (2, 4)\}$. Геометрическое представление этого множества приведено на рис. 2, а.

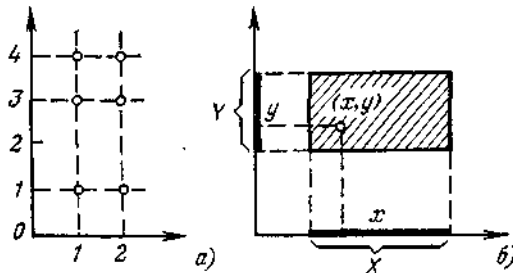


Рис. 2. Геометрическая иллюстрация прямого произведения множеств.

Пример 2. Пусть X и Y — отрезки вещественной оси. Прямое произведение $X \times Y$ изобразится заштрихованным прямоугольником, показанным на рис. 2,б. Из этого рисунка следует, что свойства прямого произведения отличаются от свойств обычного произведения в арифметическом смысле. В частности, прямое произведение изменяется

при изменении порядка сомножителей, т. е.

$$X \times Y \neq Y \times X. \quad (5)$$

Операция прямого произведения легко распространяется и на большее число множеств. Прямым произведением множеств X_1, X_2, \dots, X_r называется множество, обозначаемое $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_r$ и состоящее из всех тех и только тех кортежей длины r , первая компонента которых принадлежит X_1 , вторая X_2 и т. д.

Частным случаем операции прямого произведения является понятие *степеней* множества. Пусть M — произвольное множество. Назовем s -й степенью множества M и обозначим через M^s прямое произведение s одинаковых множеств, равных M :

$$M^s = \underbrace{M \times M \times \dots \times M}_s \quad (6)$$

Это определение пригодно для $s=2,3,\dots$ Его можно расширить на любое целое неотрицательное s , если специальными определениями положить

$$M^1 = M, \quad M^0 = \{\Lambda\}. \quad (7)$$

Если R — множество вещественных чисел, то $R^2=R \times R$ представляет собой вещественную плоскость, а $R^3=R \times R \times R$ представляет собой трехмерное вещественное пространство.

4.2.3. Проекция множества

Операция проектирования множества тесно связана с операцией проектирования кортежа и может применяться лишь к таким множествам, элементами которых являются кортежи одинаковой длины.

Пусть M — множество, состоящее из кортежей длины s . Тогда проекцией множества M будем называть множество проекций кортежей из M .

Пример 3. Пусть $M = \{(1, 2, 3, 4, 5), (2, 1, 3, 5, 5), (3, 3, 3, 3, 3), (3, 2, 3, 4, 3)\}$. Тогда $\text{Пр}_2 M = \{2, 1, 3\}$; $\text{Пр}_{2,4} M = \{(2, 4), (1, 5), (3, 3)\}$.

Легко проверить, что если $M = X \times Y$, то

$$\text{Пр}_1 M = X; \quad \text{Пр}_2 M = Y, \quad (8)$$

а если $Q \subseteq X \times Y$, то

$$\text{Пр}_1 Q \subseteq X; \quad \text{Пр}_2 Q \subseteq Y. \quad (9)$$

4.2.4 Определение соответствия

Рассмотрим два множества X и Y . Элементы этих двух множеств могут каким-либо образом сопоставляться друг с другом, образуя пары (x, y) . Если способ такого сопоставления определен, т. е. для каждого элемента $x \in X$ указан элемент $y \in Y$, с которым сопоставляется элемент x , то

говорят, что между множествами X и Y установлено соответствие. При этом совершенно необязательно, чтобы в сопоставлении участвовали все элементы множеств X и Y .

Для того чтобы задать соответствие, необходимо указать:

- 1) множество X , элементы которого сопоставляются с элементами другого множества;
- 2) множество Y , с элементами которого сопоставляются элементы первого множества;
- 3) множество $Q \subseteq X \times Y$, определяющее закон, в соответствии с которым осуществляется соответствие, т. е. перечисляющее все пары (x, y) , участвующие в сопоставлении. Таким образом, соответствие, обозначаемое q , представляет собой тройку множеств

$$q = (X, Y, Q), \quad (10)$$

в которой $Q \subseteq X \times Y$. В этом выражении первая компонента X называется областью отправления соответствия, вторая компонента Y называется областью прибытия соответствия, третья компонента Q называется графиком соответствия. Термин «график» будет более подробно разъяснен при рассмотрении частного вида соответствия, называемого функцией.

Кроме трех рассмотренных множеств X , Y и Q , с каждым соответствием неразрывно связаны еще два множества: это множество $\text{Pr}_1 Q$, называемое областью определения соответствия, в которое входят элементы множества X , участвующие в сопоставлении, и множество $\text{Pr}_2 Q$, называемое областью значений соответствия, в которое входят элементы множества Y , участвующие в сопоставлении.

Если $(x, y) \in Q$, то говорят, что элемент y соответствует элементу x . Геометрически это удобно изображать стрелкой, направленной от x к y .

Пример 4. Пусть $X = \{1, 2\}$, $Y = \{3, 5\}$, так что $X \times Y = \{(1, 3), (1, 5), (2, 3), (2, 5)\}$. Это множество дает возможность получить 16 различных соответствий. Приведем некоторые из них:

$$Q_1 = \{(1, 3)\}; \quad \text{Pr}_1 Q_1 = \{1\}; \quad \text{Pr}_2 Q_1 = \{3\}; \\ Q_2 = \{(1, 3), (1, 5)\}; \quad \text{Pr}_1 Q_2 = \{1\}; \quad \text{Pr}_2 Q_2 = \{3, 5\} = Y.$$

Пример 5. На предприятии имеются три автомашины: две грузовые α и β , работающие в две смены, и автобус γ , используемый редко. Машина β находится в ремонте. В штате имеются три шофера a, b, c , из которых c находится в отпуске. Распределение шоферов по машинам представляет собой соответствие. Одним из возможных соответствий будет следующее:

$$q = (\{a, b, c\}, \{\alpha, \beta, \gamma\}, \{(a, \alpha), (a, \gamma), (b, \alpha)\}).$$

Геометрически это соответствие изображено на рис. 3, а.

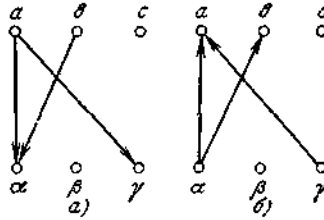


Рис. 3. Геометрическое представление прямого и обратного соответствий.

В нем элемент a соответствует элементам a и b , а элемент γ соответствует элементу a . Соответствие q определено на a и b , но не определено на c , следовательно, областью определения соответствия является множество $\{a, b\}$. Областью значений соответствия является множество $\{\alpha, \gamma\}$.

4.2.5. Обратное соответствие

Для каждого соответствия $q=(X, Y, Q)$, $Q \subseteq X \times Y$ существует обратное соответствие, которое получается, если данное соответствие рассматривать в обратном направлении, т. е. определять элементы $x \in X$, с которыми сопоставляются элементы $y \in Y$. Соответствие, обратное соответствию q , будем обозначать

$$q^{-1} = (Y, X, Q^{-1}), \quad (11)$$

где $Q^{-1} \subseteq Y \times X$.

Пример 6. Обратным соответствием для примера 5 будет закрепление автомашин за шоферами

$$(\{\alpha, \beta, \gamma\}, \{a, b, c\}, \{(\alpha, a), (\alpha, b), (\gamma, a)\}),$$

что геометрически показано на рис 3, б

Из приведенного примера видно, что геометрическое представление обратного соответствия получается путем изменения направления стрелок в геометрическом представлении прямого соответствия. Отсюда следует, что обратным соответствием обратного соответствия будет прямое соответствие

$$(q^{-1})^{-1}=q. \quad (12)$$

4.2.6. Композиция соответствий

Композицией соответствий называется последовательное применение двух соответствий.

Композиция соответствий есть операция с тремя множествами X , Y и Z , на которых определены два соответствия

$$\begin{aligned} q &= (X, Y, Q), Q \subseteq X \times Y; \\ p &= (Y, Z, P), P \subseteq Y \times Z, \end{aligned} \quad (13)$$

причем область значений первого соответствия совпадает с областью определения второго соответствия:

$$\text{Пр}_2 Q = \text{Пр}_1 P. \quad (14)$$

Первое соответствие определяет для любого $x \in \text{Пр}_1 Q$ некоторый, возможно и не один, элемент $y \in Y$. Согласно определению операции композиции соответствий теперь нужно для найденного $y \in Y$ определить $z \in Z$, воспользовавшись вторым соответствием. Таким образом, композиция соответствий сопоставляет с каждым элементом x из области определения первого соответствия $\text{Пр}_1 Q$ один или несколько элементов z из области значений второго соответствия $\text{Пр}_2 P$.

Композицию соответствий q и p будем обозначать $q(p)$, а график композиции соответствий — через $Q \circ P$. При этом композиция соответствий (13) запишется в виде

$$q(p) = (X, Z, Q \circ P), Q \circ P \subseteq X \times Z. \quad (15)$$

Пример 7. Если q — соответствие, определяющее распределение шоферов по автомашинам, а p — соответствие, определяющее распределение автомашин по маршрутам, то соответствие $q(p)$ есть соответствие, определяющее распределение шоферов по маршрутам.

Естественно, что операцию композиции можно распространить и на большее, чем два, число соответствий.

Множество $\text{Пр}_1 G$ называется *областью определения* соответствия, множество $\text{Пр}_2 G$ — *областью значений* соответствия. Если $\text{Пр}_1 G = A$, то соответствие называется *всюду определенным* (в противном случае соответствие называется *частичным*); если $\text{Пр}_2 G = B$, то соответствие называется *сюръективным*.

Множество всех $b \in B$, соответствующих элементу $a \in A$, называется *образом* a в B при соответствии G . Множество всех a , которым соответствует b , называется *прообразом* b в A при соответствии G . Если $C \subseteq \text{Пр}_1 G$, то образом множества C называется объединение образов всех элементов C . Аналогично определяется прообраз множества D для любого $D \subseteq \text{Пр}_2 G$.

Соответствие G называется *функциональным* (или *однозначным*), если образом любого элемента из $\text{Пр}_1 G$ является единственный элемент из $\text{Пр}_2 G$. Соответствие G между A и B называется *взаимно-однозначным* (иногда пишут «1-1-соответствие»), если оно всюду определено,

сюръективно, функционально и, кроме того, прообразом любого элемента из $\text{Pr}_2 G$ является единственный элемент из $\text{Pr}_1 G$.

Пример 8. 1) Круг G радиуса 1 с центром в точке $(3, 2)$ (рис. 4), т. е. множество пар действительных чисел (x, y) , удовлетворяющих соотношению $(x - 3)^2 + (y - 2)^2 \leq 1$, задает соответствие между R и R (осью абсцисс и осью ординат).

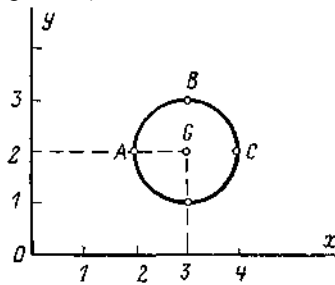


Рис. 4

Образом числа 4 при этом соответствии является единственное число 2, образом числа 3 является отрезок $[1, 3]$ оси ординат; этот же отрезок $[1, 3]$ является образом отрезка $[2, 4]$ оси абсцисс, который, в свою очередь, служит прообразом числа 2. Данное соответствие не является функциональным. Примером функционального соответствия между действительными числами на том же рис. 4 служит дуга ABC .

Еще раз напомним, что для задания соответствия надо указать не только множество G , но и множества A и B , т. е. указать, подмножеством какого именно прямого произведения является G . В данном примере тот же круг G_1 задает и другое соответствие: между отрезком $[2, 4]$ и отрезком $[1, 3]$. При этом по некоторым свойствам соответствия $G_1 \subseteq R^2$ и $G_1 \subseteq [2, 4] \times [1, 3]$ отличаются: например, второе соответствие в отличие от первого всюду определено и сюръективно. Учитывая эти соотношения, следовало бы определять соответствие как тройку множеств (G, A, B) . Тогда не пришлось бы оговариваться, что один круг может за давать два соответствия; это и так было бы ясно из различия троек (G_1, R, R) и $(G_1, [2, 4], [1, 3])$. Однако такие оговорки приходится делать редко: либо множества A и B ясны из контекста, либо различия в их выборе не влияют на исследуемые свойства соответствия. Поэтому «определение через тройку множеств» здесь использоваться не будет.

2) Англо-русский словарь устанавливает соответствие между множеством английских и русских слов. Это соответствие не является функциональным (так как одному английскому слову, как правило, ставится в соответствие несколько русских слов); кроме того, оно практически никогда не является полностью определенным: всегда

можно найти английское слово, не содержащееся в данном словаре (При этом остается в стороне вопрос (вообще говоря, законный), является ли множество английских слов (так же как и русских) точно заданным множеством.

3) Позиция на шахматной доске представляет собой взаимно-однозначное соответствие между множеством оставшихся на доске фигур и множеством занятых ими полей.

4) Различные виды кодирования — кодирование букв азбукой Морзе, представления чисел в различных системах счисления, секретные шифры, входящие и исходящие номера в деловой переписке и другие — являются соответствиями между кодируемыми объектами и присваиваемыми им кодами. Эти соответствия, как правило, обладают всеми свойствами взаимно-однозначного соответствия, кроме, быть может, одного — сюръективности. Единственность образа и прообраза в кодировании гарантирует однозначность шифровки и дешифровки. Отсутствие сюръективности означает, что не всякий код имеет смысл, т. е. соответствует какому-либо объекту. Например, кодирование телефонов г. Москвы семизначными номерами не сюръективно, так как некоторые семизначные номера не соответствуют никаким телефонам.

5) Множество векторов вида $(n, 2^n)$, где $n \in \mathbb{N}$, задает взаимнооднозначное соответствие между множеством \mathbb{N} натуральных чисел и множеством M_{2^n} степеней двойки.

4.3. Отображения и функции

4.3.1. Отображения и их свойства

Пусть X и Y — некоторые множества и $TQXxY$, причем $\text{Pr}_1\Gamma=X$. Тройка множеств (X, Y, Γ) определяет некоторое соответствие, обладающее, однако, тем свойством, что его область определения $\text{Pr}_1\Gamma$ совпадает с областью отправления, т. е. X , и, следовательно, это соответствие определено всюду на X . Другими словами, для каждого $x \in X$ существует $y \in Y$, так что $(x, y) \in \Gamma$. Такое всюду определенное соответствие называется *отображением* X в Y , и записывается как

$$\Gamma: X \rightarrow Y. \quad (16)$$

Под словом «отображение» часто понимают однозначное отображение. Однако мы не будем придерживаться этого правила и будем считать, что каждому элементу $x \in X$ отображение Γ ставит в соответствие некоторое

подмножество

$$\Gamma x \subseteq Y, \tag{17}$$

называемое образом элемента x . Закон, в соответствии с которым осуществляется соответствие, определяется множеством Γ .

Пример 9. Если в примере 5 исключить из рассмотрения шофера c , то получим отображение $\Gamma: X \rightarrow Y$, в котором $X = \{a, b\}$ — множество шоферов; $Y = \{\alpha, \beta, \gamma\}$ — множество автомашин; $\Gamma = \{(a, \alpha), (a, \gamma), (b, \alpha)\}$ — распределение шоферов по автомашинам. Геометрическое представление этого отображения дано на рис. 5.

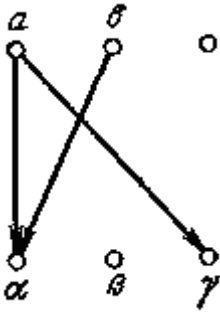


Рис. 5. Геометрическое представление отображения.

Обратимся теперь к рассмотрению некоторых свойств отображения. Пусть $A \subseteq X$. Для любого $x \in A$ образом x будет множество $\Gamma x \subseteq Y$. Совокупность всех элементов Y , являющихся образами Γx ; для всех $x \in A$, назовем образом множества A и будем обозначать ΓA . Согласно этому определению

$$\Gamma A = \bigcup_{x \in A} \Gamma x. \tag{18}$$

Если A_1 и A_2 — подмножества X , то

$$\Gamma(A_1 \cup A_2) = \Gamma A_1 \cup \Gamma A_2. \tag{19}$$

Однако соотношение

$$\Gamma(A_1 \cap A_2) = \Gamma A_1 \cap \Gamma A_2 \tag{20}$$

справедливо только в том случае, если отображение является однозначным. В общем же случае

$$\Gamma(A_1 \cap A_2) \subseteq \Gamma A_1 \cap \Gamma A_2. \tag{21}$$

Полученные соотношения легко обобщаются и на большее число подмножеств A_i . Так, если A_1, \dots, A_n подмножества X , то

$$\Gamma\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) = \bigcup_{i=1}^n \Gamma A_i; \quad (22)$$

$$\Gamma\left(\bigcap_{i=1}^n A_i\right) \subseteq \bigcap_{i=1}^n \Gamma A_i. \quad (23)$$

Поскольку отображение является частным случаем соответствия, для отображения имеют место введенные при рассмотрении соответствий понятия обратного отображения и композиции отображений.

4.3.2. Отображения, заданные на одном множестве

Важным частным случаем отображения является случай, когда множества X и Y совпадают. При этом отображение $\Gamma: X \rightarrow X$ будет представлять собой отображение множества X самого в себя и будет определяться парой

$$(X, \Gamma), \quad (24)$$

где $\Gamma \subseteq X^2$. Подробным изучением таких отображений снимается теория графов. Коснемся здесь лишь некоторых операции над подобными отображениями.

Пусть Γ и Δ — отображения множества X в X . Композицией этих отображений назовем отображение $\Gamma\Delta$, которое в соответствии с правилом, приведенным в 2.4.1, определяется следующим образом:

$$(\Gamma\Delta)x = \Gamma(\Delta x). \quad (25)$$

В частном случае, если $\Delta = \Gamma$, получаем отображения

$$\Gamma^2 x = \Gamma(\Gamma x); \quad (26)$$

$$\Gamma^3 x = \Gamma(\Gamma^2 x) \text{ и т. д.} \quad (28)$$

Таким образом, в общем случае для любого $s \geq 2$

$$\Gamma^s x = \Gamma(\Gamma^{s-1} x). \quad (29)$$

Специальным определением введем соотношение

$$\Gamma^0 x = x. \quad (30)$$

Это дает возможность распространить соотношение (29) и на отрицательные s . Действительно, согласно (29)

$$\Gamma^0 x = \Gamma(\Gamma^{-1} x) = \Gamma\Gamma^{-1} x = x. \quad (31)$$

Это означает, что $\Gamma^{-1}x$ представляет собой обратное отображение. Тогда

$$\Gamma^{-2}x = \Gamma^{-1}(\Gamma^{-1} x) \quad (32)$$

и т. д.

Пример 10. Пусть X — множество людей. Для каждого человека $x \in X$ обозначим через Γx множество его детей. Тогда $\Gamma^2 x$ — множество внуков x ; $\Gamma^3 x$ — множество правнуков x ; $\Gamma^{-1}x$ — множество родителей x и т. д.

Изображая людей точками и рисуя стрелки, идущие из x в Γx , получаем родословное или генеалогическое дерево (рис. 6).

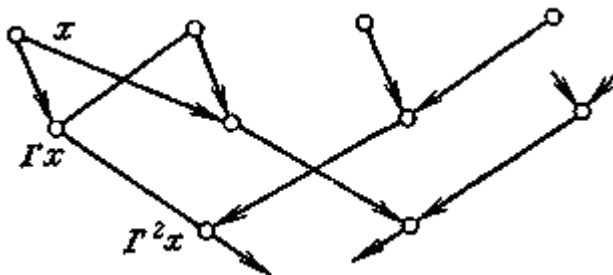


Рис. 6. Генеалогическое дерево

Пример 11. Рассмотрим шахматную игру. Обозначим через x некоторое положение (расположение фигур на доске), которое может создаваться в процессе игры, а через X множество всевозможных положений. Тогда Γx для любого $x \in X$ будет означать множество положений, которые можно получить из x , делая один ход при соблюдении правил игры. При этом $\Gamma x = \emptyset$, если x матовое или патовое положение, $\Gamma^3 x$ — множество положений, которые можно получить из x тремя ходами; $\Gamma^{-1} x$ — множество положений, из которых данное положение может быть получено за один ход.

Для отображений, заданных на одном множестве часто используют некоторые другие названия, которые у нас встретятся в дальнейшем.

Так, если элементы $x \in X$ представляют собой состояния динамической информационной системы, то отображение Γx может рассматриваться как множество состояний, в которые система может перейти из данного состояния. В этом случае удобно использовать термин преобразование состояния динамической информационной системы. Для обозначения некоторых специальных видов отображений, заданных на одном и том же множестве, используется также термин *отношение*.

4.3.3. Типы отображений

При *отображении* X в Y каждый элемент x из X имеет один и только один образ $y = f(x)$ из Y . Однако вовсе не обязательно, чтобы и всякий элемент из Y был образом некоторого элемента из X (рис. 7 а). Если же любой элемент из Y есть образ, по крайней мере, одного элемента из X (рис. 7, б), то говорят, что имеет место *отображение X на Y* (*сюръекция* или *накрытие*).

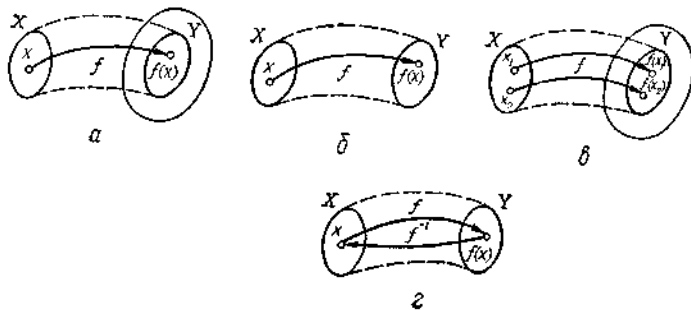


Рис. 7. Типы отображений:

a — отображение X в Y ; b — отображение X на Y (сюръекция); c — взаимно-однозначное отображение X в Y (инъекция); d — взаимно-однозначное отображение X на Y (биекция).

Если для любых двух различных элементов x_1 и x_2 из X их образы $y_1 = f(x_1)$ и $y_2 = f(x_2)$ также различны, то отображение f называется *инъекцией* (рис.7, c). Отображение, которое является одновременно сюръективным и инъективным (рис.7, d), называется *биекцией (наложением)*. В этом случае говорят, что $f : X \rightarrow Y$ есть *взаимно-однозначное* отображение, а между элементами X и Y имеется взаимно-однозначное соответствие. При этом, обратное отношение f^{-1} также взаимно-однозначное отображение, $x = f^{-1}(y)$ равносильно $y = f(x)$ и $(f^{-1})^{-1}$ совпадает с f .

Любое отображение f из X в Y есть элемент множества $\mathcal{P}(X \times Y)$, которое обозначается также через Y^X (напомним, что $\mathcal{P}(X \times Y)$, — это множество всех подмножеств прямого произведения $X \times Y$, а элементами последнего являются упорядоченные пары (x, y) , где $x \in X$ и $y \in Y$. Если f — взаимно-однозначное отображение, а множества X и Y совпадают ($X = Y$), то $f : X \rightarrow X$ называют *отображением множества X на себя*. Элементы $(x, x) \in X \times X$ образуют *тождественное отображение e* , причем $ff^{-1} = f^{-1}f = e$.

4.3.4. Образы и прообразы

В общем случае при отображении $f : X \rightarrow Y$ элемент из Y может быть образом не одного, а нескольких элементов множества X . Совокупность всех элементов, образом которых является данный элемент y из Y , называется *полным прообразом* элемента y и обозначается $f^{-1}(y)$.

Пусть Q — некоторое подмножество множества X , на котором определено отображение f . Совокупность элементов $f(q)$, являющихся образами всех элементов множества Q , называется *образом этого множества* и обозначается $f^1(y)$. В свою очередь, для каждого множества R из Y определяется его полный прообраз $f^{-1}(R)$ как совокупность всех тех элементов из X , образы которых принадлежат R .

Основные свойства отображений выражаются соотношениями:

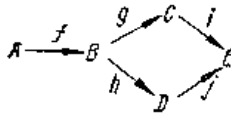
$$f^{-1}(A \cup B) = f^{-1}(A) \cup f^{-1}(B); f^{-1}(A \cap B) = f^{-1}(A) \cap f^{-1}(B); f(A \cup B) = f(A) \cup f(B).$$

Образ пересечения двух множеств, вообще говоря, не совпадает с пересечением их образов. Но можно показать, что

$$f(A \cap B) \subset f(A) \cap f(B).$$

4.3.5. Композиция отображений.

Если $f : X \rightarrow Y$ и $g : Y \rightarrow Z$, то их композиция $(g \circ f) : X \rightarrow Z$, причем $(g \circ f)(x) = g(f(x))$. Пусть, например, $f = \sin$, $g = \ln$; тогда $(g \circ f)(x) = (\ln \circ \sin)x = \ln \sin x$. Для наглядности представления соотношений, где встречаются несколько отображений, пользуются диаграммами, например:



Такая диаграмма называется *коммутативной*, если в любом случае, когда можно пройти от одного множества к другому по различным последовательностям стрелок, соответствующие композиции совпадают (в приведенном выше примере условие коммутативности $i \circ g = j \circ h$).

4.3.6. Подстановки как отображения

Взаимно-однозначное отображение множества $N = \{1, 2, \dots, n\}$ на себя называется *подстановкой n чисел* (или подстановкой n -й степени). Обычно принято записывать подстановку двумя строками, заключенными в скобки. Первая строка содержит аргументы (первые координаты) подстановки, а вторая — соответствующие им образы (вторые координаты). Например, взаимно-однозначное соответствие четырех чисел, заданное множеством упорядоченных пар $\{(1, 2), (2, 4), (3, 3), (4, 1)\}$ запишется как подстановка a четвертой степени

$$a = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 4 & 3 & 1 \end{pmatrix},$$

в которой 1 переходит в 2, 2 — в 4, 3 — в 3 и 4 — в 1.

Так как безразлично, в каком порядке следуют упорядоченные пары отображения, то одна и та же подстановка допускает различные представления:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 4 & 3 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 4 & 3 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 4 & 3 \\ 4 & 2 & 1 & 3 \end{pmatrix} \text{ и т. д.}$$

Каждая строка в записи подстановки n -й степени содержит n различных чисел, расположенных в определенном порядке, т. е. представляет собой некоторую *перестановку* n чисел 1, 2, ..., n . Если обозначить i -е элементы перестановок через α_i и β_i ($i = 1, 2, \dots, n$), причем $\alpha_i, \beta_i \in N$, то подстановку n -й степени можно представить как

$$a = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \alpha_n \\ \beta_1 & \beta_2 & \dots & \beta_n \end{pmatrix}.$$

Поскольку число всех перестановок из n чисел равно $n!$, то число всех различных подстановок n -й степени, как и число всевозможных способов записи любой из таких подстановок, также равно $n!$.

Тождественная подстановка n -й степени e_n переводит каждое число в себя. Очевидно, одной из записей e_n является следующая:

$$e_n = \begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & n \\ 1 & 2 & \dots & n \end{pmatrix}.$$

Если в подстановке a поменяем местами ее перестановки, то получим подстановку a^{-1} *симметричную* a . Например

$$a = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 4 & 3 & 1 \end{pmatrix}; \quad a^{-1} = \begin{pmatrix} 2 & 4 & 3 & 1 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix}.$$

Композицией подстановок n -й степени a и b называется подстановка n -й степени $c = ab$, являющаяся результатом последовательного выполнения сначала a , затем b . Например:

$$c = ab = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 4 & 3 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 4 & 3 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 4 & 2 & 3 & 1 \end{pmatrix},$$

так как 1 переходит в 2 и 2 — в 4, т. е. в результате 1 переходит в 4 и т. д. Очевидно, если a — подстановка n -й степени, то $ae_n = e_n a = a$, $aa^{-1} = a^{-1}a = e_n$. Подстановка называется *четной*, если общее число инверсий в ее строках (перестановках) четно, и *нечетной* - в противном случае. Как известно, *инверсию* образуют два числа в перестановке, когда меньшее из них расположено правее большего. Каждой перестановке можно сопоставить число инверсий в ней, которое подсчитывается следующим образом: для

каждого из чисел определяется количество стоящих правее его меньших чисел, и полученные результаты складываются. Например, подстановка

$$\begin{pmatrix} 4 & 2 & 5 & 1 & 3 & 6 \\ 5 & 3 & 1 & 4 & 2 & 6 \end{pmatrix}$$

нечетная, так как количество инверсий в верхней перестановке $3+1+2+0+0+0=6$ и в нижней перестановке $4+2++0+1+0+0=7$, т. е. общее число инверсий $6+7=13$.

4.3.7. Разложение подстановки в циклы

Всякую подстановку можно разложить в *произведение циклов*, множества элементов которых попарно не пересекаются. *Цикл* — это такая подстановка

$$\begin{pmatrix} \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{k-1}, \alpha_k, \alpha_{k+1}, \dots, \alpha_n \\ \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_i, \alpha_1, \alpha_{k+1}, \dots, \alpha_n \end{pmatrix} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k),$$

которая переводит α_1 в α_2 , α_2 в α_3 , ..., α_{k-1} в α_k и α_k в α_1 , а остальные элементы $\alpha_{k+1}, \dots, \alpha_n$ переходят в самих себя. Сокращенная запись цикла $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$ сводится к перечислению множества элементов, которые циклически переходят друг в друга, а количество этих элементов k определяет *длину (порядок) цикла*. Так,

$$\begin{pmatrix} 4 & 2 & 5 & 1 & 3 & 6 \\ 5 & 3 & 1 & 4 & 2 & 6 \end{pmatrix} = (1, 4, 5)(2, 3)(6).$$

Цикл длины 1 представляет собой тождественную подстановку и часто не записывается. Подстановка, все n элементов которой образуют цикл, называется *круговой* или *циклической*. Цикл длины 2 называют *транспозицией* (это подстановка, переставляющая только два элемента). Всякая подстановка представляется произведением транспозиций, например:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 2 & 5 & 4 & 1 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 2 & 1 & 3 & 4 & 5 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 2 & 1 & 3 & 4 & 5 \\ 2 & 5 & 3 & 4 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 2 & 5 & 3 & 4 & 1 \\ 2 & 5 & 4 & 3 & 1 \end{pmatrix} \times \\ \times \begin{pmatrix} 2 & 5 & 4 & 3 & 1 \\ 2 & 5 & 4 & 1 & 3 \end{pmatrix} = (1, 2)(1, 5)(3, 4)(1, 3).$$

Заметим, что подобное разложение может содержать циклы с общими элементами и при этом оно не является единственным. В то же время разложение подстановки на *независимые циклы* (без общих элементов) всегда можно осуществить только единственным способом.

Разность между числом всех элементов подстановки n и количеством ее циклов t (с учетом циклов длины 1) называется *декрементом* подстановки $d = n - t$. Четность подстановки совпадает с четностью

ее декремента.

Наглядное представление о подстановках дают их графы, построенные на множестве n вершин, соответствующих числам $1, 2, \dots, n$. На рис. 8, а показаны графы подстановок a (сплошными линиями) и b (штриховыми) и на рис.8, б — граф их композиции $c = ab$:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 3 & 1 & 2 & 5 & 4 & 6 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 1 & 2 & 4 & 3 & 6 & 5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 4 & 1 & 2 & 6 & 3 & 5 \end{pmatrix}.$$

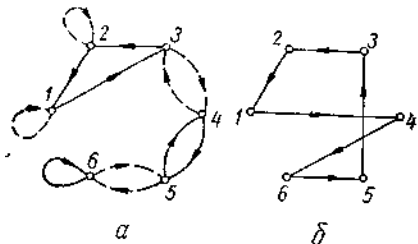


Рис. 8. Графы подстановок (а) и композиции подстановок (б)

Циклам подстановок соответствуют простые циклы графа (циклы длины 1 изображаются петлями), причем граф состоит исключительно из таких циклов. Композиция подстановок на рис.8, б содержит только один цикл, которому соответствует единственный цикл графа, т. е. является циклической.

4.3.8. Функция

Рассмотрим некоторое отображение

$$f: X \rightarrow Y. \quad (23)$$

Это отображение называется *функцией*, если оно является однозначным, т. е. если для любых пар $(x_1, y_1) \in f$ и $(x_2, y_2) \in f$ из $x_2 = x_1$ следует $y_2 = y_1$.

Из определения отображения и из приведенных ранее примеров следует, что элементами множеств X и Y могут быть объекты любой природы. Однако в задачах теории истин и информации большой интерес представляют отображения, которые являются однозначными и множество значений которых представляет собой множество вещественных чисел R . Однозначное отображение f , определяемое (23), называется функцией с вещественными значениями, если $Y \subseteq R$.

Понятие функции является чрезвычайно широким, и изучению отдельных классов функций посвящены многие математические дисциплины (алгебра, тригонометрия и т. п.). Мы рассмотрим только некоторые общие наиболее фундаментальные свойства функции, не касаясь свойств конкретных классов функций.

Пример 12. Из данного города в другой можно проехать по железной дороге, автобусом или самолетом. Стоимость билета будет соответственно 7, 9 и 12 руб. Стоимость билета в этом примере можно представить как функцию от вида транспорта. Для этого рассмотрим множества

$$X = \{\text{ж. д., авт., сам.}\}; \quad Y = \{7, 9, 12\}.$$

Функция $f: X \rightarrow Y$, получаемая из условий примера, может быть записана в виде множества $f = \{(\text{ж. д., } 7), (\text{авт., } 9), (\text{сам., } 12)\}$

Значение y в любой из пар $(x, y) \in f$ называется функцией от данного x , что записывается в виде $y = f(x)$. Такая запись позволяет вести следующее формальное определение функции:

$$f = \{(x, y) \in X \times Y \mid y = f(x)\}. \quad (24)$$

Таким образом, символ f используется при определении функции в двух смыслах:

- 1) f является множеством, элементами которого являются пары (x, y) , участвующие в соответствии;
- 2) $f(x)$ является обозначением для $y \in Y$, соответствующему данному $x \in X$.

Формальное определение функции в виде соотношения (24) позволяет установить способы задания функции.

1. Перечисление всех пар (x, y) , составляющих множество f , как это было сделано в примере 12. Такой способ задания функции применим, если X является конечным множеством. Для большей наглядности пары (x, y) удобно располагать в виде таблицы.

2. Во многих случаях как X , так и Y представляют собой множества вещественных или комплексных чисел. В таких случаях очень часто под $f(x)$ понимается формула, т. е. выражение, содержащее перечень математических операций (сложение, вычитание, деление, логарифмирование и т. п.), которые нужно произвести над $x \in X$, чтобы получить y .

Пример 13. Пусть $X = Y = \mathbb{R}$ и $f = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid y = x^2\}$. Тогда $f(x) = x^2$.

Иногда для разных подмножеств множества X функции приходится пользоваться различными формулами. Пусть A_1, \dots, A_n — попарно непересекающиеся подмножества X . Обозначим через $f_i(x)$, $i = \overline{1, n}$, формулу, определяющую y при $x \in A_i$. Тогда функция $f(x)$ будет определяться выражением

$$f(x) = \begin{cases} f_1(x) & \text{при } x \in A_1; \\ \dots\dots\dots & \\ f_n(x) & \text{при } x \in A_n. \end{cases} \quad (25)$$

Так, функцию $y=f(x) = |x|$ можно задать в виде

$$y = \begin{cases} x & \text{при } x \geq 0; \\ -x & \text{при } x < 0. \end{cases}$$

3. Если X и Y — множества вещественных чисел, то элементы $(x, y) \in f$ можно изобразить в виде точек на плоскости R^2 . Полная совокупность таких точек будет представлять собой *график* функции fx .

Если в выражении (23) $X=U \times V$, то приходим к функции от двух переменных u и v , обозначаемой через $f(u, v)$, где $u \in U$ и $v \in V$. Формальное определение функции двух вещественных переменных будет следующим:

$$f = \{(u, v, y) \in U \times V \times Y \mid y = f(u, v)\}. \quad (26)$$

Аналогично определяются функции от трех и большего числа переменных.

Свяжем с функцией еще одно понятие, называемое *сужением функции*. Пусть $f: X \rightarrow Y$ — произвольная функция и A — произвольное множество. Сужением функции f на множество A называется функция f_A , содержащая все те и только те пары $(x, y) \in f$, в которых $x \in A$, а значит, $(x, y) \in A \times Y$. Следовательно,

$$f_A \doteq f \cap (A \times Y). \quad (27)$$

Операцию сужения функции часто используют для табличного задания функций с бесконечной областью определения X . В качестве множества A берут обычно выборку равноотносящих значений x множества X . Получаемое при этом сужение f_A функции f уже легко представить в виде таблицы. По этому принципу построены таблицы логарифмов, тригонометрических функций и некоторые другие.

Пример 14. 1) Функция $f(x) = 2^x$ является отображением N в N и N на M_{2^n} .

2) Всякая нумерация счетного множества является его отображением на N .

3) Функция $f(x) = \sqrt{x}$ не полностью определена, если ее тип $N \rightarrow N$, и полностью определена, если ее тип $N \rightarrow R$ или $R_+ \rightarrow R$ (R_+ — положительное подмножество R).

4) Пусть зафиксирован список $\{a_1, \dots, a_n\}$ всех элементов конечного

множества A . Тогда любой вектор $v_i = (a_{i_1}, \dots, a_{i_n})$ из A^n можно рассматривать как описание функции $f_i: A \rightarrow A$ (т. е. преобразования A), определяемой следующим образом: $f_i(a_j) = a_{i_j}$, т. е. значение f_i для a_j равно j -й компоненте v_i . Число всех преобразований A равно, следовательно, $|A^n| = n^n$. Аналогично всякую функцию типа $N \rightarrow N$ можно представить бесконечной последовательностью элементов N , т. е. натуральных чисел; отсюда нетрудно показать, что множество всех преобразований счетного множества континуально.

5) Каждое натуральное число n единственным образом разлагается на произведение простых чисел (простых делителей этого числа). Поэтому, если договориться располагать простые делители n в определенном порядке (например, в порядке неубывания), то получим функцию $q(n)$ типа

$$N \rightarrow \bigcup_{i=1}^{\infty} N^i,$$

отображающую N в множество векторов произвольной длины. Например, $q(42) = (2, 3, 7)$, $q(23) = 23$, $q(100) = (2, 2, 5, 5)$. Это отображение не является сюръективным, так как в область значений q не входят векторы, для компонент которых не выполнено условие неубывания.

б) Каждому человеку соответствует множество его знакомых. Если зафиксировать момент времени (например, 10 января 1976 г., 5 ч 00 мин), то это соответствие будет однозначным и явится отображением множества M людей, живущих в этот момент, в множество подмножеств M .

4.3.9. Обратная функция

Понятие обратной функции применимо для такого отображения $f: X \rightarrow Y$, которое, во-первых, является однозначным, т. е. для любых $(x_1, y_1) \in f$ и $(x_2, y_2) \in f$ из $x_2 = x_1$ следует $y_2 = y_1$, и, во-вторых, является взаимно-однозначным, т. е. из $x_2 \neq x_1$ следует $y_2 \neq y_1$. При выполнении этих условий отображение $f: X \rightarrow Y$ является однозначным, т. е. определяет функцию $y = f(x)$. Обратное отображение $f^{-1}: Y \rightarrow X$ также является однозначным и определяет функцию $x = f^{-1}(y)$, называемую обратной по отношению к функции $y = f(x)$.

При аналитическом задании функции f принято аргумент как прямой, так и обратной функции обозначать одной и той же буквой, например x . Поэтому для нахождения обратной функции следует уравнение $y = f(x)$

разрешить относительно x и поменять обозначения, заменив x на y и y на x . При этом обратная функция запишется в виде $y=f^{-1}(x)$.

Пример 15. 1) Функция $\sin x$ имеет тип $R \rightarrow R$. Отрезок $[-\pi/2, \pi/2]$ она взаимно-однозначно отображает на отрезок $[-1, 1]$. Поэтому на отрезке $[-1, 1]$ для нее существует обратная функция $\arcsin x$.

2) Ранее приводились примеры кодирующих функций, которые каждому объекту из своей области значений ставят в соответствие некоторый код. Для кодирующей функции обратной будет декодирующая функция, которая каждому коду ставит в соответствие закодированный этим кодом объект. Если кодирующая функция не сюръективна, то декодирующая функция не всюду определена.

Пусть даны функции $f: A \rightarrow B$ и $g: B \rightarrow C$. Функция $h: A \rightarrow C$ называется *композицией* функций *fug* (обозначение $f \circ g$), если имеет место равенство $h(x) = g(f(x))$, где $x \in A$. Композиция *fug* представляет собой последовательное применение функций f и g ; g применяется к результату f . Часто говорят, что функция h получена *подстановкой* f в g . Знак \circ аналогично умножению часто опускается.

Для *многместных* функций $f: A^m \rightarrow B$, $g: B^n \rightarrow C$ возможны различные варианты подстановки f в g , дающие функции различных типов.

Например, при $m = 3$, $n = 4$ функция $h_1 = g(x_1, f(y_1, y_2, y_3), x_3, x_4)$ имеет шесть аргументов и тип $B \times A^3 \times B^2 \rightarrow C$, а функция $h_2 = g(f(y_1, y_2, y_3), f(z_1, z_2, z_3), x_3, x_4)$ имеет восемь аргументов и тип $A^6 \times B^2 \rightarrow C$. Особый интерес представляет случай, когда задано множество функций типа

$f_1: A^{m_1} \rightarrow A, \dots, f_n: A^{m_n} \rightarrow A$. В этом случае возможны, во-первых, любые подстановки функций друг в друга, а во-вторых, любые переименования аргументов, например переименование x_3 в x_2 , порождающее из функции

$f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ функцию трех аргументов $f(x_1, x_2, x_2, x_4)$. Функция, полученная из f_1, \dots, f_n некоторой подстановкой их друг в друга и переименованием аргументов, называется *суперпозицией* f_1, \dots, f_n .

Выражение, описывающее эту суперпозицию и содержащее функциональные знаки и символы аргументов, называется *формулой*.

Пример 16. 1) Функции $\sin x$ и \sqrt{x} имеют тип $R \rightarrow R$, т. е. отображают одно и то же множество в себя. Поэтому их композиция возможна в произвольном порядке и дает функции $\sin \sqrt{x}$ и $\sqrt{\sin x}$. Заметим, что области определения их различны: первая функция определена на положительной полуоси; вторая функция определена на множестве отрезков $[2k\pi, (2k + 1)\pi]$, где $k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$. Таким образом, область определения композиции может быть уже областей определения обеих исходных функций и даже оказаться пустой.

2) Множество $K = \{k_1, \dots, k_m\}$ команд ЭВМ отображается в машинные коды этой ЭВМ, т. е. в натуральные числа. Кодирующая функция ϕ имеет

тип $K \rightarrow N$. С помощью суперпозиции этой функции и арифметических функций оказываются возможными арифметические действия над командами (которые сами по себе числами не являются!), т. е. функции вида $\Phi(k_1) + \Phi(k_2)$, $\Phi(k_1) + 4$ и т. д.

3) В функции $f_1(x_1, x_2, x_3) = x_1 + 2x_2 + 7x_3$ переименование x_3 в x_2 приводит к функции $f_1(x_1, x_2, x_2) = x_1 + 2x_2 + 7x_2$, которая равна функции двух аргументов $f_2(x_1, x_2) = x_1 + 9x_2$. Переименование x_1 и x_3 в x_2 приводит к одноместной функции $f_3(x_2) = 10x_2$.

4) Элементарной функцией в математическом анализе называется всякая функция f , являющаяся суперпозицией фиксированного (т. е. не зависящего от значений аргументов f) числа арифметических функций, а также функций e^x , $\log x$, $\sin x$, $\arcsin x$. Например, функция $\log^2(x_1 + x_2) + 3 \sin \sin x_1 + x_3$ элементарна, так как является результатом нескольких последовательных суперпозиций $x_1 + x_2$, x^2 , $\log x$, $3x$, $\sin x$.

5) Всякая непрерывная функция n переменных представима в виде суперпозиции непрерывных функций двух переменных.

6) Рассмотрим множество $\{1, 2, 3\}$ и два преобразования этого множества: $\alpha = (1 \rightarrow 3, 2 \rightarrow 3, 3 \rightarrow 1)$ и $\beta = (1 \rightarrow$

$\rightarrow 2, 2 \rightarrow 1, 3 \rightarrow 1)$. Обычно преобразования конечных множеств записывают так:

$$\alpha\beta = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix}, \quad \beta\alpha = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}.$$

Композиция преобразований — это новое преобразование:

$$\alpha = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 3 & 3 & 1 \end{pmatrix}, \quad \beta = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Для функций возникает вопрос, что значит «задать функцию»? По смыслу нашего определения задать функцию $f: A \rightarrow B$ — это значит описать определяющее ее подмножество $A \times B$, поэтому вопрос сводится к заданию некоторого множества. Однако можно определить понятие функции, не используя языка теории множеств: функция считается заданной, если задана **вычислительная процедура**, которая по любому заданному значению аргумента выдает соответствующее значение функции. Функция, определенная таким образом, называется вычислимой. Процедура должна быть **эффективной**, т. е. **однозначно приводящей к результату**. Уточнение понятия эффективной процедуры привело к созданию теории алгоритмов.

Понятие **эффективной вычислительной процедуры** — **алгоритма** может быть принято за исходное при построении всей системы понятий математики. Такой подход к обоснованию математики, называемый

конструктивным, допускает только те математические объекты и утверждения, которые могут быть получены с помощью алгоритмов. С этой точки зрения описанная ранее функция f_π вообще не заслуживает названия функции, поскольку для нее не указан алгоритм вычисления. Понятие множества перестает быть первичным; оно определяется с помощью разрешающей или порождающей процедуры. Множества, для которых нет таких процедур, просто не рассматриваются.

Достоинства конструктивного подхода достаточно ясны. Однако его последовательное проведение показало, что он требует более радикальной ревизии основных понятий математики, чем это кажется с первого взгляда, и иногда приводит к значительным концептуальным и языковым неудобствам. Поэтому в качестве «математического мировоззрения» конструктивизм разделяется относительно небольшим числом математиков, хотя, как правило, никто не отрицает преимуществ конструктивных методов в тех случаях, когда они возможны.

4.3.10. Функция времени

В основе понятия функции времени лежит множество $T \subseteq R$ с элементами t , называемое множеством моментов времени. Время обладает той характерной особенностью, что имеет направление. Это означает, что если $t_1, t_2 \in T$ и $t_1 < t_2$, то момент t_1 предшествует моменту t_2 . Другими словами, T — упорядоченное множество.

Функция времени определяет отображение f множества моментов времени T на множество вещественных чисел R :

$$f: T \rightarrow R. \quad (28)$$

Элементами f будут пары (t, x) , обозначаемые также через $x(t)$, где $t \in T$, $x \in R$. Каждая такая пара определяет значение функции в момент t и называется *событием* или *мгновенным значением* функции. Полная совокупность пар (t, x) , т. е. значений $x(t)$ для всех $t \in T$, и представляет собой функцию времени. Дальнейшее уточнение функции времени связано с уточнением ее области определения, т. е. вида множества T .

Если $T=R$, т. е. t может принимать любое вещественное значение от $-\infty$ до $+\infty$, то функция $x(t)$ называется функцией с *непрерывным временем*.

Примером может служить синусоидальная функция времени $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$, описывающая напряжение в сети переменного тока.

Однако нас обычно не интересуют весьма удаленные моменты времени как в прошлом, так и в будущем. Поэтому производят сужение $x(t)$ на ограниченный интервал $t_1 < t \leq t_2$, который обычно считают полуоткрытым интервалом и обозначают $(t_1, t_2]$. Полуоткрытые интервалы времени удобны тем, что допускают последовательное сочленение друг с другом.

Так, если интервал $(t_1, t_2]$ разбить моментом t' на два интервала $(t_1, t']$ и $(t', t_2]$, то не будет сомнений, к какому интервалу отнести t' .

Сужение функции $x(t)$, заданной на интервале $-\infty < t < +\infty$, на интервал $(t_1, t_2]$ называется *отрезком функции* $x(t)$ и обозначается $x_{(t_1, t_2]}$. Итак, по определению

$$x_{(t_1, t_2]} = \{x(t) | t \in (t_1, t_2]\}. \quad (29)$$

Для осуществления операции сужения часто используют специальную функцию времени, называемую *единичной функцией* или *единичным скачком*:

$$\mathbf{1}(t - \lambda) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq \lambda; \\ 1 & \text{при } t > \lambda, \end{cases} \quad (30)$$

приведенную на рис.9,а.

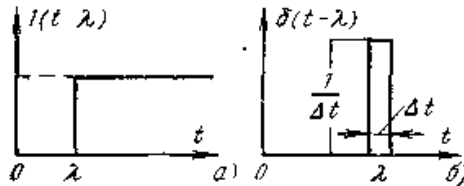


Рис. 9. Единичный скачок и импульсная функция.

Так, напряжение, подаваемое на вход прибора, подключаемого к сети в момент $t = \lambda$, будет равно:

$$u(t) = \mathbf{1}(t - \lambda) x(t) = \mathbf{1}(t - \lambda) A \sin(\omega t + \varphi).$$

Другой широко используемой функцией времени является импульсная функция $\delta(t - \lambda)$, определяемая соотношениями:

$$\delta(t - \lambda) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \neq \lambda; \\ \infty & \text{при } t = \lambda; \end{cases} \quad (31)$$

$$\int_{\lambda - \varepsilon}^{\lambda + \varepsilon} \delta(t - \lambda) dt = 1, \quad \varepsilon > 0. \quad (32)$$

Функцию $\delta(t - \lambda)$ можно рассматривать как определенный случай приведенного на рис. 9,б прямоугольного импульса шириной Δt и высотой $1/\Delta t$, появляющегося в момент $t = \lambda$ при $\Delta t \rightarrow 0$.

Импульсная функция позволяет выделять мгновенные значения функции $x(t)$ для фиксированных моментов времени. Так, если $t_1 < \lambda < t_2$, то

$$\int_{t_1}^{t_2} x(t) \delta(t - \lambda) dt = x(\lambda) \int_{\lambda - \varepsilon}^{\lambda + \varepsilon} \delta(t - \lambda) dt = x(\lambda). \quad (33)$$

Если множество T представляет собой множество натуральных чисел

$$\dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, n, \dots,$$

то говорят о функции с *дискретным временем*. В этом случае элементы множества T обозначают через n , так что пара (n, x) , обозначаемая также $x[n]$ или x_n , определяет значение функции в момент n . На рис. 10 приведен пример функции с дискретным временем.

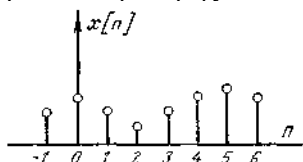


Рис. 10. Функция с дискретным временем.

4.3.11. Понятие функционала

Говоря об отображении $f: X \rightarrow Y$ как о функции с вещественными значениями, мы не накладывали на характер элементов множества X каких-либо особых ограничений. В простейших задачах множество X , как и множество Y , представляет собой множество вещественных чисел. В этом случае каждая пара $(x, y) \in f$ ставит в соответствие одному вещественному числу x другое вещественное число y . Однако важным для практики является случай, когда множество X представляет собой множество функций, а множество Y — множество вещественных чисел. Этот случай приводит к понятию функционала, подробное рассмотрение которого удобно провести на примере.

Представим себе некоторую линию $y=f(x)$, соединяющую фиксированные точки A и B , как показано на рис. 11, по которой скатывается свободно движущийся шарик.

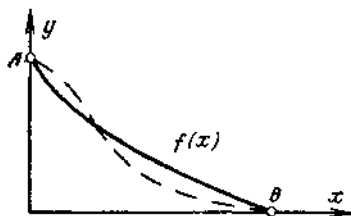


Рис. 11. Линия наискорейшего спуска

Обозначим через t время, которое шарик затратит на перемещение из точки A в точку B . Это время зависит от характера линии AB , т. е. от вида функции $f(x)$. Если обозначить через $F(x)$ множество различных функций, изображающих линию AB , а через T множество вещественных чисел t , определяющих время движения шарика, то зависимость времени движения от вида функции может быть записана как отображение

$$J: F(x) \rightarrow T. \quad (34)$$

Элементами множества J будут пары $(f(x), t)$, в которых $f(x) \in F(x)$, а $t \in T$. В этом случае говорят, что вещественное число $t \in T$ представляет собой функционал J от функции $f(x) \in F(x)$, записывают это в виде

$$t = J[f(x)] \quad (35)$$

В задачах управления функционалы используются как критерии качества управления. Так, в рассмотренном примере время перемещения шарика из точки A в точку B можно трактовать как критерий «качества» выбранной функции $f(x)$. При этом говорят об *оптимальном управлении* как о таком, при котором соответствующий критерий качества обращается в минимум. С этой точки зрения определение «оптимального» вида функции $f(x)$ сводится к выполнению условия

$$\min_{f \in F} J[f(x)], \quad (36)$$

при котором время t будет минимальным. В математике подобная линия наискорейшего спуска получила название брахистохроны.

4.3.12. Понятие оператора

Оператором L называется отображение

$$L: X \rightarrow Y, \quad (37)$$

и котором множества X и Y являются множествами функций с элементами $x(t)$ и $y(t)$, так что элементами множества L будут пары $(x(t), y(t))$. В этом случае говорят, что оператор L преобразует функцию $x(t)$ в функцию $y(t)$, и пишут:

$$y(t) = L[x(t)]. \quad (38)$$

Примером оператора служит оператор дифференцирования p , ставящий в соответствие функции $f(x)$ другую функцию $f'(x) = df(x)/dx$, что может быть записано в виде

$$f'(x) = p[f(x)].$$

В задачах управления роль оператора часто выполняет сама управляющая система, преобразующая по некоторому закону L входной

сигнал $x(t)$ в выходной сигнал $y(t)$, как это показано на рис. 12.



Рис. 12. Представление управляющей системы в виде функционала.

5. Меры и единицы информации

5.1. Информационное пространство

Любые процессы жизни человеческого общества — производственные, хозяйственные, научно-исследовательские, демографические, общественно-политические и т. п. — находят отображение в информационных процессах.

Существующие определения понятия «информация» после тщательного анализа обычно признаются неудовлетворительными. Чаще всего они рассматривают информацию в сравнительно узком контексте. Попытки дать более широкое определение содержат элементы неясности. Поэтому вряд ли возможно сформулировать одно точное определение информации. Довольно распространенным является взгляд на информацию как на ресурс, аналогичный материальным, трудовым, денежным и т. п. ресурсам. Эта точка зрения отражается в следующем определении: **информация** — это сведения, позволяющие отразить материальные процессы, связанные с преобразованием вещества, энергии и самой информации.

Информация неотделима от процесса информирования, поэтому необходимо рассматривать **источник информации и потребителей информации**. Роль потребителей информации очерчивается в следующем определении: **информация** — это сведения, принятые, понятые и оцененные как необходимые (требуемые) конечным потребителем.

Информация на пути от источника к потребителю проходит через ряд преобразователей: несколько кодирующих и декодирующих устройств,

переносающих знаки с одного носителя на другой; ЭВМ, обрабатывающую информацию по определенному алгоритму, и т. д. На промежуточных стадиях преобразования смысловые свойства информации отступают на второй план, поэтому понятие «информация» заменяется на менее ограничительное понятие «данные».

Данные представляют собой набор утверждений, фактов и/или цифр, взаимосвязанных между собой. В тех случаях, когда различие между информацией и данными не нужно подчеркивать, они употребляются как синонимы.

Под **информационным пространством** некоторого объекта или множества объектов будем понимать совокупность всех информационных компонентов этого объекта или множества объектов независимо от способов и средств отображения этих компонентов.

Информационное пространство неоднородно. Оно содержит устные и письменные сообщения, в том числе организационно-распорядительскую документацию, отчеты о научно-исследовательских работах, экономическую, техническую и конструкторскую документацию и др., сообщения на машинных носителях, а также такие виды представления информации как визуальные, звуковые, электромагнитные и др.

Одна из важнейших характеристик информационного пространства — степень его структурированности.

Под **структурированностью информационного пространства** понимается такое свойство информационного пространства, при котором все содержание и особенности этого пространства представляются его компонентами и взаимосвязями между ними, выраженными в явном виде.

Между структурированностью информационного пространства и энтропией можно провести аналогию. **Энтропия** — это некоторая мера неупорядоченности в информации; **чем больше энтропия, тем меньше упорядоченность информации**. В структурированности информационного пространства обратная зависимость — **чем больше структурированность информационного пространства, тем больше его упорядоченность**. Тем не менее аналогия между энтропией и структурированностью информационного пространства достаточно глубока и позволяет переносить некоторые закономерности определения и изучения энтропии на структурированность информационного пространства.

Обработка информации на электронной вычислительной машине определяет необходимость представления ее в структурированном виде. Если в качестве меры структурированности информационного пространства принять отношение объема структурированной информации к объему всей информации в рассматриваемом

пространстве, то степень структурированности информации, обрабатываемой на электронной вычислительной машине (при условии, что эта информация представляет собой рассматриваемое информационное пространство), **наибольшая.**

В любой системе машинной обработки информации (СМОИ) все входные и выходные документы, все промежуточные и внутримашинные представления информации структурированы. Следовательно, для такого информационного пространства коэффициент структурированности равен или близок к максимальному значению.

В зависимости от степени структурированности информационного пространства выделим следующие **пять его видов.**

1. Неструктурированное информационное пространство (НИП). Для НИП характерно, что структурированность компонентов информации встречается редко. Примерами НИП являются разговорная речь или информация, которой обмениваются между собой дельфины. Некоторые элементы структурированности в этом подклассе могут присутствовать.

2. Слабо структурированное информационное пространство (ССИП) — полностью структурированы только отдельные компоненты. Типичным примером ССИП может служить письменный язык. Структурированность основного объема информации состоит в выполнении требований некоторого синтаксиса. Как правило, такие требования неоднозначны, противоречивы, имеют исключения, сохраняют омонимию и синонимию и т. п.

3. Структурированное информационное пространство (СИП) — характеризуется существенным преобладанием структурированных компонентов. В СИП информация документирована, широко используется кодирование для обеспечения однозначности трактовки тех или иных понятий. Типичный пример СИП—автоматизированная информационная система (АИС), представляющая собой **часть информационного пространства, которая отображает деятельность некоторого информационного объекта.**

4. Формализованно структурированное информационное пространство (ФСИП) — для него должно существовать в явном виде такое **описание информационных образований, в котором определены не только информационные структуры и связи, но и алгоритмы получения значений любого элемента данных.**

Основное назначение формализованного структурированного информационного пространства в том, что представленные в явном виде описания информационных образований должны обеспечивать:

- порождение (на основе формальных правил) не только блоков логико-алгебраических преобразований, но и любых операций по

управлению данными (сортировка, подборка, вызов, размещение и др.);

- возможность выбора оптимальной структуры автоматизированной информационной системы в соответствии с выбранной целевой функцией;

- возможность реорганизации как структур, так и алгоритмов обработки информации в процессе функционирования системы на основе обработки статистических данных и накапливаемых изменений об объекте.

5. Машинно-структурированное информационное пространство (МСИП) — формализованно описаны все информационные образования, в том числе формы входных и выходных документов, запросы конечных пользователей. Типичным примером МСИП является база данных в системе машинной обработки информации. Все процессы преобразования информации в таком пространстве формализованы и представлены в виде машинных программ. Некоторые неструктурированные элементы используются при организации взаимодействия конечных пользователей и вычислительной системы на естественном (или близком к естественному) языке.

Изучение закономерностей построения и методов анализа структурированного, в том числе формализованно- и машинно-структурированных видов, информационного пространства объектов инвариантного характера, изучение абстрактно-теоретических положений и средств, обеспечивающих переход от одного вида информационного пространства к другому, и является основой настоящей работы.

Процесс создания проекта системы машинной обработки данных для некоторого объекта можно представить в виде последовательного перехода от первичного описания этого объекта (некоторой информационной модели) через промежуточные модели, такие, как машинная и программно-алгоритмическая модели, к проекту системы машинной обработки данных (модель обработки данных).

Одно из свойств последовательности моделей — соблюдение семантического единства, семантическая совместимость моделей **снизу вверх**. **Предыдущая модель связана с последующей в смысловом плане.** Все сведения, имеющиеся в предыдущей модели, сохраняются в последующей. При этом последующая модель пополняется новыми (производными) сведениями, новыми информационными взаимосвязями, которых не было в предыдущей модели, за счет применения нового уровня обобщения, новых преобразований.

Другое свойство этой последовательности моделей — конструктивная полнота, заключающаяся в том, что должна

обеспечиваться полнота сведений, достаточная для последующих формализованных преобразований от первичного описания информационного объекта до модели обработки данных.

Переход от предыдущей модели к последующей обеспечивается применением некоторых преобразователей. Выделим два типа преобразователей. Одни преобразователи обеспечивают собственно переход от одной модели к другой, другие позволяют анализировать синтаксическую и семантическую непротиворечивость модели, ее полноту, корректность и адекватность реальным условиям объекта управления.

На первом этапе создания последовательности моделей — информационной модели объекта — используются преобразователи первого типа — организация и корректировка информационной модели и второго типа — анализ информационной модели.

На втором этапе — создании машинной модели, по существу, являющейся машинной интерпретацией информационной модели, используются преобразователи первого типа — преобразование информационной модели в машинную и ведение и корректировка машинной модели и второго типа — синтаксический и семантический анализ машинной модели.

Третий этап — программно-алгоритмическая модель, включающая средства управления данными и структуру базы данных. На этом этапе используются преобразователи первого типа — преобразование машинной модели в программно-алгоритмическую и второго типа — анализ программно-алгоритмической модели.

На четвертом этапе — создании модели обработки данных, по существу, представляющем собой проект системы машинной обработки данных, используются преобразователи первого типа — преобразование программно-алгоритмической модели в модель обработки данных и второго типа — документирование модели обработки данных, сопровождение модели обработки данных, модернизация модели обработки данных.

В различных представлениях информации можно выделить несколько уровней единиц информации. Им соответствуют некоторые последовательности символов, для которых существует семантическая интерпретация. Выделяют следующие единицы информации (в порядке возрастания синтаксической сложности): реквизит, показатель, составная единица информации, база данных.

Реквизит является информационным отображением отдельного свойства объекта или процесса реального мира.

Составная единица информации представляет собой информационное отображение объекта или процесса в целом или их части.

Показатель — это одна из разновидностей составной единицы информации, минимальная по информационному содержанию, но достаточная для образования документа.

Базой данных называется единица информации, задающая информационное отображение множества разнородных взаимодействующих объектов реального мира.

Каждая **единица информации характеризуется именем, структурой, значением, методами организации значений и допустимыми операциями над именем, структурой и значениями.**

Имя единицы информации — это ее уникальное наименование в процессах обработки информации.

Под *структурой единицы информации* понимается ее реквизитный состав с учетом иерархического вхождения в нее единиц информации более низкого уровня. Структурой реквизита считается описание формата, т. е. указание множества допустимых символов в каждой позиции значения.

Множество *значений единицы информации* может быть объявлено и организовано в памяти ЭВМ различными способами.

Точное описание множества значений и всех взаимосвязей, которые поддерживаются между его элементами, называется *методом организации значений*.

Допустимыми операциями над именем единицы информации являются открытие и закрытие имени, объявление синонимов для данного имени и др.

Операции над структурой единицы информации — *композиция* и *декомпозиция*. В процессе композиции различные по структуре единицы информации объединяются, **получая новое имя, новую структуру и новое множество значений**. Для вычисления структуры и множества значений результата должен существовать алгоритм, который в качестве входной информации использует структуру и значения исходных единиц информации. Декомпозиция представляет собой операцию разъединения единицы информации на не совпадающие по структуре части. Операции над значениями единиц информации очень разнообразны.

Сведения об имени, структуре, множестве значений и допустимых операциях над единицей информации образуют ее *модель*. Чаще всего речь идет о модели базы данных, называемой *моделью данных*. Единицы информации и их модели представляют собой важный инструмент анализа и проектирования автоматизированных информационных систем.

5.2. Кратные интегралы как меры информации

Пусть в трехмерном пространстве, в котором определена прямоугольная система координат (x, y, z) , задана непрерывная поверхность

$$z = f(Q) = f(x, y) \quad (Q = (x, y) \in \Omega),$$

где Ω есть ограниченное (двумерное) множество, для которого возможно определить понятие его площади (двумерной меры, см. в п. 5.3). В качестве Ω может быть взят круг, прямоугольник, эллипс и т. д. Будем считать, что функция $f(x, y)$ положительная, и поставим задачу: требуется определить объем тела, ограниченного сверху поверхностью, снизу плоскостью $z = 0$ и с боков цилиндрической поверхностью, проходящей через границу γ плоского множества Ω , с образующей, параллельной оси z .

Искомый объем естественно определить следующим образом. Разделим Ω на конечное число частей

$$\Omega_1, \dots, \Omega_N \quad (1)$$

перекрывающихся между собой по своим границам. Однако эти части должны быть такими, чтобы можно было определить их площади (двумерные меры), которые мы обозначим соответственно через $m\Omega_1, \dots, m\Omega_N$. Введем понятие *диаметра* множества A — это есть точная верхняя грань

$$d(A) = \sup_{P', P'' \in A} |P' - P''|.$$

В каждой части Ω_j выберем по произвольной точке

$Q_j = (\xi_j, \eta_j)$ ($j = 1, \dots, N$) и составим сумму

$$V_N = \sum_{j=1}^N f(Q_j) m\Omega_j, \quad (2)$$

которую естественно считать приближенным выражением искомого объема V . Приближение $V \approx V_N$ будет тем более точным, чем меньшими будут диаметры $d(\Omega_j)$ частей Ω_j . Поэтому естественно *объем* тела определить как предел суммы (2)

$$V = \lim_{\max d(\Omega_j) \rightarrow 0} \sum_{j=1}^N f(Q_j) m\Omega_j, \quad (3)$$

когда максимальный диаметр частичных множеств разбиения (1) стремится к нулю, если этот предел существует и равен одному и тому же

числу независимо от способа последовательного разбиения Ω_j .

Можно отвлечься от задачи о нахождении объема тела и смотреть на выражение (3) как на некоторую операцию, которая производится над функцией f , определенной на Ω . Эта операция называется *операцией двойного интегрирования по Риману функции f на множестве Ω* , а ее результат— *определенным двойным интегралом (Римана) от f на Ω* , обозначаемым так:

$$V = \lim_{\max d(\Omega_j) \rightarrow 0} \sum_{j=1}^N f(Q_j) m\Omega_j = \iint_{\Omega} f(x, y) dx dy = \int_{\Omega} f(Q) dQ = \int_{\Omega} f d\Omega.$$

Пусть теперь в трехмерном пространстве, где определена прямоугольная система координат x, y, z , задано тело Ω (множество) с неравномерно распределенной в нем массой с плотностью распределения $\mu(x, y, z) = \mu(\Omega)$ ($\Omega = (x, y, z) \in \Omega$). Требуется определить общую массу тела Ω . Чтобы решить эту задачу, следует произвести разбиение Ω на части $\Omega_1, \dots, \Omega_N$, объемы (трехмерные меры) которых (в предположении, что они существуют) пусть будут $m\Omega_1, \dots, m\Omega_N$, выбрать произвольным образом в каждой части по точке $(Q_j = (x_j, y_j, z_j) \in \Omega_j)$ и считать, что искомая масса равна

$$M = \lim_{\max d(\Omega_j) \rightarrow 0} \sum_{j=1}^N \mu(Q_j) m\Omega_j. \tag{4}$$

Снова на выражение (1) можно смотреть как на определенную операцию над функцией μ , заданной теперь на трехмерном множестве Ω . Эта операция на этот раз называется *операцией тройного интегрирования (по Риману)*, а результат ее—*определенным тройным интегралом (Римана)*, обозначаемым так:

$$M = \lim_{\max d(\Omega_j) \rightarrow 0} \sum_{j=1}^N \mu(Q_j) m\Omega_j = \iiint_{\Omega} \mu(Q) dQ = \iiint_{\Omega} \mu(x, y, z) dx dy dz.$$

В этом же духе определяется понятие *n -кратного интеграла Римана*.

Мы увидим, что часть теории кратного интегрирования, содержащая теоремы существования и теоремы об аддитивных свойствах интеграла, может быть изложена совершенно аналогично как в одномерном, так и в *n -мерном случае*. Однако в теории кратных интегралов возникают трудности, которых не было у нас при изложении теории однократных интегралов.

Дело в том, что однократный интеграл Римана определяют для простого

множества—отрезка $[a, b]$, который дробится снова на отрезки. Никаких трудностей в определении длины (*одномерной меры*) отрезков не возникло. Между тем в случае двойных и вообще n -кратных интегралов область интегрирования Ω приходится делить на части с криволинейными границами, и возникает вопрос об общем определении понятия площади или вообще n -мерной меры этих частей.

В двумерном случае мы будем иметь дело с ограниченными областями, имеющими *гладкую границу* (рис. 1) или *кусочно-гладкую границу* (рис. 2), т. е. состоящую из конечного числа гладких кусков (линий).



Рис. 1.



Рис. 2.

Эти области в свою очередь приходится делить на части, имеющие *кусочно-гладкую границу*. Каждой такой области ω и некоторым другим множествам можно привести в соответствие положительное число $m\omega$, называемое *площадью или двумерной мерой Жордана* (общее определение двумерной меры Жордана дано в р. 5.3).

При этом выполняются свойства:

- 1) Если Δ — прямоугольник с основанием a и высотой b , то $m\Delta = |\Delta| = ab$.
- 2) Если $\omega_1 \subset \omega_2$ и ω_1, ω_2 имеют меры $m\omega_1, m\omega_2$, то $m\omega_1 \leq m\omega_2$.
- 3) Если область ω разрезана при помощи кусочно-гладкой кривой на две части ω_1 и ω_2 ($\omega = \omega_1 + \omega_2$), то $m\omega = m\omega_1 + m\omega_2$

Существуют множества двумерной меры нуль такие, как точка, отрезок, гладкая или кусочно-гладкая кривая.

В трехмерном случае нас будут интересовать области, имеющие в качестве своей границы кусочно-гладкие поверхности. Про такие области будем говорить, что они имеют кусочно-гладкую границу. Шар, эллипсоид, куб могут служить примерами таких областей.

Поверхность называется *гладкой*, если в любой ее точке к ней можно провести касательную плоскость, непрерывно изменяющуюся вместе с этой точкой. Поверхность называется *кусочно-гладкой*, если ее можно разрезать на конечное число гладких кусков. По линиям разрезов касательные плоскости к поверхности могут и не существовать.

Для трехмерных ограниченных областей ω с кусочно-гладкими границами можно определить их объем (трехмерную меру), т. е. положительное число $m\omega$, удовлетворяющее свойствам:

- 1) Если Δ —прямоугольный параллелепипед с ребрами a, b, c , то $m\Delta = |\Delta| = abc$.
- 2) Если $\omega_1 \subset \omega_2$ и ω_1, ω_2 имеют меры $m\omega_1, m\omega_2$, то $m\omega_1 \leq m\omega_2$.
- 3) Если область ω разрезана при помощи кусочно-гладкой поверхности на части ω_1 и ω_2 ($\omega = \omega_1 + \omega_2$), то $m\omega = m\omega_1 + m\omega_2$.

Есть множества трехмерной меры нуль. Такими являются точка, отрезок, прямоугольник (плоский), гладкая или кусочно-гладкая поверхность.

По аналогии можно рассматривать n -мерные области ω ($\omega \subset R_n$) с кусочно-гладкой границей и для них определить n -мерную меру — $m\omega > 0$, обладающую свойствами, подобными свойствам 1), 2), 3).

Прямоугольник Δ в R_n определяется как множество точек

$x = (x_1, \dots, x_n)$, координаты которых удовлетворяют неравенствам $a_j \leq x_j \leq b_j$ ($j = 1, \dots, n$; $a_j < b_j$).

Мера (n -мерная) Δ определяется как произведение:

$$m\Delta = |\Delta| = (b_1 - a_1)(b_2 - a_2) \dots (b_n - a_n).$$

Гладкая поверхность $S \subset R_n$ определяется как множество точек

$x = (x_1, \dots, x_n)$, удовлетворяющих уравнению

$$x_j = f(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n), \quad (x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n) \in \bar{g},$$

где j может иметь одно из значений $j = 1, 2, \dots, n$. При этом f есть непрерывно дифференцируемая функция на замыкании некоторой

$(n-1)$ -мерной ограниченной области g точек

$(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n)$.

Кусочно-гладкая поверхность в R_n по определению состоит из конечного числа гладких кусков (поверхностей), пересекающихся между собой по их краям.

Повторим определение кратного интеграла, не прибегая к аидичпм геометрического или физического содержания.

Пусть в n -мерном пространстве R_n задана ограниченная область Ω с кусочно-гладкой границей Γ ($\bar{\Omega} = \Omega + \Gamma$) и на Ω (или $\bar{\Omega}$) задана функция

$$f(x) = f(x_1, \dots, x_n).$$

Разрежем $\bar{\Omega}$ на части Ω_j , пересекающиеся по своим границам, которые будем считать кусочно-гладкими. Для краткости будем говорить, что мы произвели разбиение p множества Ω .

Выберем в каждой части Ω_j по произвольной точке

$$\xi' = (\xi'_1, \dots, \xi'_n) \quad (\xi' \in \Omega_j)$$

$$S_\rho(f) = \sum_{j=1}^N f(\xi_j) m\Omega_j,$$

которую будем называть *интегральной суммой Римана* функции f , отвечающей разбиению ρ . Предел суммы

$$\begin{aligned} \lim_{\max d(\Omega_j) \rightarrow 0} S_\rho(f) &= \lim_{\max d(\Omega_j) \rightarrow 0} \sum_{j=1}^N f(\xi_j) m\Omega_j = \\ &= \int_{\Omega} f(x) dx = \int_{\Omega} \dots \int_{\Omega} f(x_1, \dots, x_n) dx_1 \dots dx_n, \end{aligned} \quad (5)$$

когда максимальный диаметр частичных множеств Ω_j стремится к нулю, называется *кратным интегралом от функции f на Ω* (или по $\bar{\Omega}$). Подчеркнем, что предел (5) называется кратным интегралом функции f , если он не зависит от выбора точек ξ_j в Ω_j и не зависит от способов разбиения ρ области Ω .

Сделаем несколько замечаний.

Замечание 1. Будем ли мы вычислять предел (5) для области Ω или для ее замыкания $\bar{\Omega}$, не имеет значения. Это связано с тем, что $\bar{\Omega} = \Omega + \Gamma$, где Γ — граница Ω , предположенная кусочно-гладкой. А кусочно-гладкая граница имеет n -мерную меру нуль ($m\Gamma = 0$, см. ниже р. 5.3),

Замечание 2. Если предел (5), т. е. кратный интеграл

$$\int_{\Omega} f d\Omega$$

существует, то функция $f(x)$ ограничена на $\bar{\Omega}$ ($|f(x)| \leq M$). Это доказывалось так же, как в случае одномерного определенного интеграла.

Замечание 3. Если $\max d(\Omega_j) \rightarrow 0$, то сумма мер тех частиц Ω_j , которые непосредственно прилегают к кусочно-гладкой границе Γ , тоже стремится к нулю

$$\sum'' m\Omega_j \rightarrow 0.$$

Здесь двойной штрих при \sum обозначает, что сумма распространена на те части Ω_j , которые прилегают к Γ .

Например, если область Ω разрезать на части при помощи квадратной сетки, как на рис.3, то соответствующее разбиение можно записать в виде

$$\Omega = \sum' \Omega_j + \sum'' \Omega_j,$$

где сумма \sum' распространена на полные квадратики (попавшие в Ω), а сумма \sum'' — на неполные квадратики.

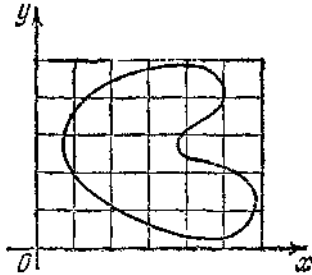


Рис. 3

Важно, что мера второй суммы стремится к нулю при неограниченном стремлении диаметра диагонали квадратиков сетки к нулю:

$$\sum^n m\Omega_j \xrightarrow{\max d(\Omega_j) \rightarrow 0} 0.$$

Замечание 4. Из предыдущих замечаний следует, что

$$|\sum^n f(\xi_j) m\Omega_j| \leq \sum^n M \cdot m\Omega_j = M \sum^n m\Omega_j \xrightarrow{\max d(\Omega_j) \rightarrow 0} 0.$$

Это показывает, что интеграл (5) можно определить так же, как предел суммы

$$\lim_{\max d(\Omega_j) \rightarrow 0} \sum^n f(\xi_j) m\Omega_j = \int_{\Gamma} f(x) dx,$$

распространенной только на такие части Ω_j разбиения, которые не прилегают к Γ .

5.3. Меры Жордана

Ограничимся рассмотрением двумерных множеств. В плоскости зададим прямоугольную систему координат x, y .

Зададим натуральное число N и две системы прямых

$$x = kh, \quad y = lh \quad (k, l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots), \quad h = 2^{-N},$$

определяющих в плоскости прямоугольную сетку, состоящую из квадратов со стороной h . Такую сетку мы будем называть h -сеткой (рис. 4).

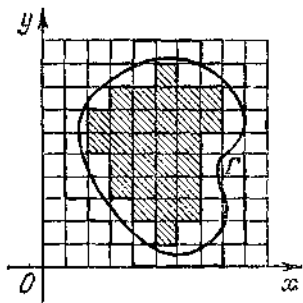


Рис. 4

Ясно, что при переходе от N к $N+1$ каждый квадрат h -сетки ($h = 2^{-N}$) разрезается на четыре равных квадратика. Последние образуют уже $h = 2^{-N-1}$ -сетку.

В плоскости зададим произвольное ограниченное множество Ω и для данного N введем два множества $\underline{\Omega}_N$ и $\bar{\Omega}_N$. Первое из них $\underline{\Omega}_N$ есть сумма (теоретико-множественная) квадратиков h -сетки ($h = 2^{-N}$), каждый из которых полностью принадлежит к Ω (на рис. 4 заштрихованная часть). Будем называть $\underline{\Omega}_N$ *внутренней фигурой множества* $\bar{\Omega}$ (определяемой данной h -сеткой). Может случиться, что $\underline{\Omega}_N$ есть пустое множество, т. е. нет ни одного квадратика, который бы полностью принадлежал к Ω . Это имеет место, например, если Ω есть множество, состоящее из конечного числа точек, или если это есть кусок гладкой кривой.

Второе множество $\bar{\Omega}_N$ мы называем *внешней фигурой множества* Ω (определяемой данной h -сеткой). Оно есть сумма квадратиков h -сетки, каждый из которых содержит в себе хотя бы одну точку Ω .

Очевидно,

$$\underline{\Omega}_N \subset \Omega \subset \bar{\Omega}_N,$$

и площади фигур $\underline{\Omega}_N, \bar{\Omega}_N$, которые мы будем обозначать через

$|\underline{\Omega}_N|, |\bar{\Omega}_N|$, удовлетворяют неравенству

$$|\underline{\Omega}_N| \leq |\bar{\Omega}_N| \quad (N = 1, 2, \dots).$$

Если $\underline{\Omega}_N$ — пустое множество, то считают $|\underline{\Omega}_N| = 0$. Нетрудно видеть, что

$$\underline{\Omega}_1 \subset \underline{\Omega}_2 \subset \underline{\Omega}_3 \subset \dots \subset \Omega \subset \dots \subset \bar{\Omega}_3 \subset \bar{\Omega}_2 \subset \bar{\Omega}_1,$$

откуда

$$|\underline{\Omega}_1| \leq |\underline{\Omega}_2| \leq |\underline{\Omega}_3| \leq \dots \leq |\underline{\Omega}_3| \leq |\underline{\Omega}_2| \leq |\underline{\Omega}_1|.$$

Таким образом,

$$|\underline{\Omega}_N| \leq |\underline{\Omega}_M|,$$

каковы бы ни были натуральные числа N и M .

Если зафиксировать M , то получится, что числа $|\underline{\Omega}_N|$ при неограниченном возрастании N не убывают, оставаясь не большими числа $|\underline{\Omega}_M|$. Это показывает, что существует предел

$$\lim_{N \rightarrow \infty} |\underline{\Omega}_N| \leq |\underline{\Omega}_M|.$$

Его называют *внутренней мерой множества* Ω и обозначают так:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} |\underline{\Omega}_N| = m_i \Omega.$$

Это вполне определенное число, не зависящее от N . Мы получили неравенство

$$m_i \Omega \leq |\underline{\Omega}_M| \quad (M = 1, 2, \dots),$$

где числа $|\underline{\Omega}_M|$ монотонно не возрастают при неограниченном возрастании M . Но тогда существует предел

$$\lim_{M \rightarrow \infty} |\underline{\Omega}_M| \geq m_i \Omega,$$

который называют *внешней мерой Жордана* множества Ω и обозначают через $m_e \Omega$.

Итак, *произвольное ограниченное множество Ω плоскости имеет внутреннюю и внешнюю меры $m_i \Omega$ и $m_e \Omega$. Это неотрицательные числа, удовлетворяющие неравенству $m_i \Omega \leq m_e \Omega$.*

Если на самом деле имеет место равенство, то Ω называют *измеримым по Жордану в двумерном смысле* и число

$$m \Omega = m_i \Omega = m_e \Omega$$

называют *двумерной мерой Ω по Жордану*

Меру Жордана мы будем называть также и просто *мерой*. Итак, множество Ω измеримо (по Жордану), если для него

$$\lim_{N \rightarrow \infty} |\underline{\Omega}_N| = \lim_{N \rightarrow \infty} |\overline{\Omega}_N|. \quad (6)$$

Обозначим через Γ границу множества Ω ($\Gamma = \partial \Omega$). Чтобы получить совокупность квадратиков сетки, покрывающих Γ или, как мы будем говорить, чтобы получить фигуру, покрывающую Γ (см. рис. 4), надо из фигуры $\overline{\Omega}_N$ вычесть в теоретико-множественном смысле фигуру

$\underline{\Omega}_N$ и замкнуть полученное множество

$$\bar{\Gamma}_N = \overline{\bar{\Omega}_N \setminus \underline{\Omega}_N}$$

Очевидно, площадь (двумерная мера) $\bar{\Gamma}_N$ равна

$$|\bar{\Gamma}_N| = |\bar{\Omega}_N| - |\underline{\Omega}_N|.$$

Из (5.247) следует:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} |\bar{\Gamma}_N| = \lim_{N \rightarrow \infty} |\bar{\Omega}_N| - \lim_{N \rightarrow \infty} |\underline{\Omega}_N| = 0. \quad (7)$$

Обратно, из равенства

$$\lim_{N \rightarrow \infty} |\bar{\Gamma}_N| = 0, \quad (8)$$

учитывая, что пределы

$$\lim_{N \rightarrow \infty} |\bar{\Omega}_N| \text{ и } \lim_{N \rightarrow \infty} |\underline{\Omega}_N|$$

существуют следует равенство (6), т. е. измеримость Ω .

Заметим, что предел (8) есть внешняя мера Γ , т. е.,

$$m_e \Gamma = 0.$$

Но $0 \leq m_i \Gamma \leq m_e \Gamma$, поэтому и

$$m_i \Gamma = m_e \Gamma = 0.$$

Мы доказали важное утверждение: *для того чтобы множество Ω плоскости было измеримым по Жордану, необходимо и достаточно, чтобы мера его границы равнялась нулю ($m\Gamma = 0$).*

Ниже будет показано, что *кусочно-гладкая кривая имеет двумерную меру нуль*. Но тогда *область Ω , имеющая кусочно-гладкую границу, измерима в двумерном смысле по Жордану*.

Рассмотрим примеры.

Пример 1. Множество Ω , состоящее из одной точки, имеет двумерную меру нуль ($m\Omega = 0$). Точка может принадлежать самое большее к четырем квадратикам h -сетки, их общая площадь стремится к нулю при $N \rightarrow \infty$ и, следовательно, $m_e \Omega = 0$, но $0 \leq m_i \Omega \leq m_e \Omega$, поэтому $m_i \Omega = m_e \Omega = m\Omega = 0$.

Пример 2. *Непрерывная кривая Γ (рис.5) $y=f(x)$ ($a < x < b$) имеет двумерную меру нуль ($m\Gamma=0$).*

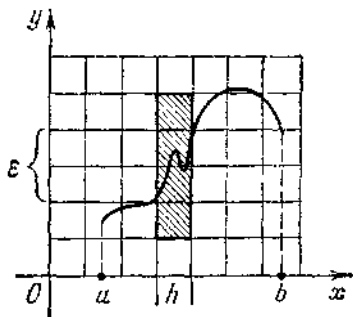


Рис. 5.

В самом деле, вследствие равномерной непрерывности f на $[a, b]$ для любого $\varepsilon > 0$ найдется $\delta > 0$ такое, что $|f(x'') - f(x')| < \varepsilon$ для всех $x', x'' \in [a, b]$, удовлетворяющих неравенству $|x' - x''| < \delta$. Найденное $\delta > 0$ можно уменьшить, как мы хотим. Будем считать, что $\delta < \varepsilon$. Зададим h -сетку с

$$h = 2^{-N} < \delta$$

и рассмотрим какой-либо столбик из квадратов сетки, содержащих в себе точки Γ . Его высота не превышает $\varepsilon + 2h$ (на рис. 5 при $\varepsilon = 2h$ выделенный столбик включает четыре квадратика h -сетки, содержащих точки Γ и $\varepsilon + 2h = 4h$), а площадь не превышает $(\varepsilon + 2h)h$. Общая площадь столбиков, покрывающих Γ , не превышает

$$(\varepsilon + 2h)h \cdot \frac{K}{h} = (\varepsilon + 2h)K \leq 3\varepsilon K,$$

где K — длина некоторого отрезка, содержащего в себе отрезок $[a, b]$.

Это показывает, что общая площадь $|\bar{\Gamma}_N|$ квадратиков, покрывающих кривую Γ , при достаточно большом N может быть сделана меньшей наперед заданного как угодно малого положительного числа, и, следовательно, внешняя мера Γ , тем более внутренняя, равна нулю. Но тогда

$$m\Gamma = 0.$$

Так как сумма конечного числа множеств, имеющих меру нуль, очевидно, имеет меру нуль, то из примера 1 следует, что двумерная мера множества, состоящего из конечного числа точек, равна нулю.

А из примера 2 следует, что гладкая кривая

$$x = \varphi(t), \quad y = \psi(t) \quad (a \leq t \leq b) \quad (9)$$

имеет двумерную меру нуль (рис. 6).

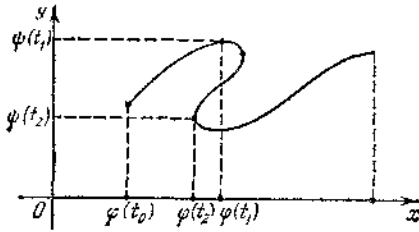


Рис. 6.

Дело в том, что если Γ —гладкая кривая на $[a, b]$, то отрезок $[a, b]$ можно разделить на конечное число отрезков точками

$$a = t_0 < t_1 < \dots < t_n = b$$

так, что на каждом частичном отрезке $[t_j, t_{j+1}]$ одно из двух уравнений (9) можно разрешить относительно t и подставить во второе. В результат получим, что соответствующий кусок Γ_j кривой Γ описывается либо уравнением вида

$$y = f(x) \quad (x \in [c, d]),$$

либо уравнением вида

$$x = g(y) \quad (y \in [p, q]),$$

где функции f и g непрерывны на соответствующих отрезках. Но тогда, как мы знаем из примера 2,

$$m\Gamma_j = 0 \quad (j = 1, \dots, r).$$

Поэтому, так как Γ есть сумма конечного числа кусков Γ_j ,

$$\Gamma = \sum_{j=1}^r \Gamma_j,$$

каждый из которых имеет меру нуль, то $m\Gamma = 0$.

Отметим, что если два множества Ω_1 и Ω_2 измеримы, то измеримы также их сумма $\Omega_1 + \Omega_2$, разность $\Omega_1 \setminus \Omega_2$ и пересечение $\Omega_1 \cap \Omega_2 = \Omega_1 \cap \Omega_2$.

В самом деле, обозначим через $\Gamma(E)$ границу множества E . На рис. 7 изображены два множества Ω_1 и Ω_2 . Очевидно,

$$\left. \begin{aligned} \Gamma(\Omega_1 + \Omega_2) &\subset \Gamma(\Omega_1) + \Gamma(\Omega_2), \\ \Gamma(\Omega_1 \setminus \Omega_2) &\subset \Gamma(\Omega_1) + \Gamma(\Omega_2), \\ \Gamma(\Omega_1 \cap \Omega_2) &\subset \Gamma(\Omega_1) + \Gamma(\Omega_2). \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

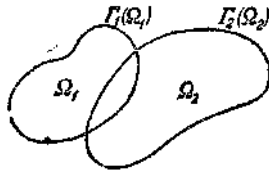


Рис.7.

Если Ω_1 и Ω_2 измеримы, то $m\Gamma(\Omega_1) = 0$, $m\Gamma(\Omega_2) = 0$, но тогда и меры левых частей (10) равны нулю, что показывает, что множества $\Omega_1 + \Omega_2$, $\Omega_1 \setminus \Omega_2$, $\Omega_1 \Omega_2$ измеримы.

Здесь мы воспользовались очевидным свойством меры. Если множество ω имеет меру нуль, то и любое его подмножество также имеет меру нуль. Наконец, если Ω_1 и Ω_2 — измеримые множества, пересекающиеся разве что по своим границам, то

$$m(\Omega^1 + \Omega^2) = m\Omega^1 + m\Omega^2. \quad (11)$$

В самом деле, очевидно (рис.8)

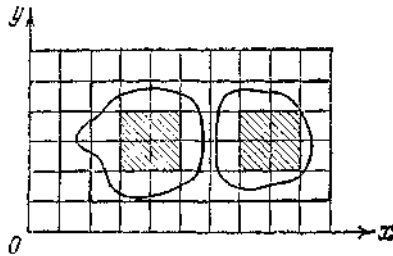


Рис.8.

$$\underline{\Omega}_N^1 + \underline{\Omega}_N^2 \subset (\Omega^1 + \Omega^2)_N \subset \overline{(\Omega^1 + \Omega^2)}_N \subset \overline{\Omega}_N^1 + \overline{\Omega}_N^2,$$

и так как

$$\begin{aligned} \lim_{N \rightarrow \infty} |\underline{\Omega}_N^1| &= \lim_{N \rightarrow \infty} |\overline{\Omega}_N^1| = m\Omega^1, \\ \lim_{N \rightarrow \infty} |\underline{\Omega}_N^2| &= \lim_{N \rightarrow \infty} |\overline{\Omega}_N^2| = m\Omega^2, \end{aligned}$$

то, очевидно,

$$\lim_{N \rightarrow \infty} |(\Omega^1 + \Omega^2)_N| = \lim_{N \rightarrow \infty} |\overline{(\Omega^1 + \Omega^2)}_N| = m\Omega^1 + m\Omega^2,$$

что доказывает (11).

Отметим, что если область Ω измерима, то ее мера Жордана равна

мере ее замыкания:

$$m\bar{\Omega} = m\bar{\Omega}.$$

В самом деле, $\bar{\Omega} = \Omega + \Gamma$, где Γ — граница Ω и $m\bar{\Omega} = m\Omega + m\Gamma$, где $m\Gamma = 0$.

Пример 3. Множество ω , состоящее из всех рациональных чисел отрезка $[0, 1]$, не измеримо по Жордану: $m_i\omega = 0$, $m_e\omega = 1$.

В трехмерном случае теория меры Жордана аналогична. Теперь вводится прямоугольная система координат x, y, z и три семейства параллельных плоскостей

$$\begin{aligned} x &= kh & (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots), \\ y &= lh & (l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots), \\ z &= mh & (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots), \end{aligned}$$

делящих пространство на кубики с ребром $h = 2^{-N}$ ($N=1,2, \dots$). Такое разбиение пространства мы снова называем h -сеткой (трехмерной).

Пусть Ω есть ограниченное множество точек, принадлежащих пространству. Обозначим через $\underline{\Omega}_N$ внутреннюю фигуру множества Ω — совокупность кубиков сетки, полностью принадлежащих Ω , и через $\bar{\Omega}_N$ — внешнюю фигуру множества Ω — совокупность кубиков сетки, каждый из которых содержит хотя бы одну точку Ω .

Снова заключаем, что

$$\begin{aligned} \underline{\Omega}_1 \subset \underline{\Omega}_2 \subset \underline{\Omega}_3 \subset \dots \subset \Omega, \\ \bar{\Omega}_1 \supset \bar{\Omega}_2 \supset \bar{\Omega}_3 \supset \dots \supset \Omega, \end{aligned}$$

откуда следует:

$$\begin{aligned} |\underline{\Omega}_1| \leq |\underline{\Omega}_2| \leq |\underline{\Omega}_3| \leq \dots, \\ |\bar{\Omega}_1| \geq |\bar{\Omega}_2| \geq |\bar{\Omega}_3| \geq \dots \end{aligned}$$

и

$$|\underline{\Omega}_N| \leq |\bar{\Omega}_M|,$$

каковы бы ни были натуральные N и M . Отсюда вытекает существование пределов

$$\lim_{N \rightarrow \infty} |\underline{\Omega}_N| \leq \lim_{N \rightarrow \infty} |\bar{\Omega}_N|.$$

Первый предел в этом неравенстве называют *внутренней* (трехмерной) *мерой* Ω :

$$m_i\Omega = \lim_{N \rightarrow \infty} |\underline{\Omega}_N|,$$

а второй — *внешней мерой* Ω :

$$m_e\Omega = \lim_{N \rightarrow \infty} |\bar{\Omega}_N|.$$

Таким образом,

$$m_i \Omega \leq m_\varepsilon \Omega.$$

Если

$$m_i \Omega = m_\varepsilon \Omega = m \Omega,$$

то множество Ω начинают измеримым в трехмерном смысле по Жордану и число $m \Omega$ называют его *трехмерной мерой*.

Рассуждениями, подобными тем, которые велись в связи о равенствами (6), (7), (8), доказывается, что множество измеримо в трехмерном смысле тогда и только тогда когда его граница имеет трехмерную меру нуль.

Мы не будем формулировать дальнейшие свойства измеримых в трехмерном смысле множеств. Они аналогичны отмеченным выше свойствам множеств, измеримых в двумерном смысле.

Остановимся только на объяснении того, что кусочно-гладкая поверхность имеет трехмерную меру нуль. Такая поверхность состоит из конечного числа кусков S , пересекающихся разве что по своим краям, каждый из которых при соответствующем переобозначении координат определяется уравнением

$$z = f(x, y) \quad ((x, y) \in \bar{g}),$$

где \bar{g} — замыкание некоторой ограниченной в плоскости x, y области.

Зададим $\varepsilon > 0$ и подберем $\delta > 0$ так, чтобы

$$|f(x', y') - f(x'', y'')| < \varepsilon$$

для всех точек $(x', y'), (x'', y'') \in \bar{g}$, находящихся на расстоянии друг от друга

$$|(x', y') - (x'', y'')| < \delta.$$

Считаем $\delta < \varepsilon$ и берем h -сетку с $h = 2^{-N} < \delta$. Рассматриваем какой-либо столбик из кубиков сетки, содержащих в себе точки S . Его высота не превышает $\varepsilon + 2h$, а объем не превышает $(\varepsilon + 2h) h^2$. Общий объем всех таких столбиков, покрывающих S , не превышает

$$(\varepsilon + 2h) h^2 \cdot \frac{K}{h^2} = (\varepsilon + 2h) K < 3\varepsilon K. \quad (12)$$

Здесь K есть площадь квадрата Δ , покрывающего множество \bar{g} . Правая часть (12) может быть взята как угодно малой, что доказывает, что трехмерная мера $mS = 0$.

Можно ввести по аналогии понятие n -мерной меры для множеств пространства R_n и показать, что гладкая поверхность в R_n имеет n -мерную меру нуль.

5.4. Многомерные интегралы

Меру можно задать и в обобщенном k -мерном пространстве или, как говорят иначе, в k -мерном многообразии. Определение интеграла и его основные свойства полностью сохраняются. Чтобы перейти к повторному интегралу, нужно ввести в пространстве обобщенные координаты $t_1 \dots t_k$, после чего выразить подынтегральную функцию в виде $u = u(t_1, \dots, t_k)$ и элемент меры

$$d\mu = \rho(t_1, \dots, t_k) dt_1 dt_2 \dots dt_k,$$

отвечающий бесконечно малому обобщенному координатному параллелепипеду со сторонами dt_1, \dots, dt_k , расположенному в точке (t_1, \dots, t_k) . Тогда интеграл примет вид

$$\int_{(\Omega)} u d\mu = \int \dots \int_{\substack{k \text{ раз}}} u(t_1, t_2, \dots, t_k) \rho(t_1, t_2, \dots, t_k) dt_1 \dots dt_k, \quad (13)$$

где в правой части надо расставить пределы, руководствуясь изменением координат t в области (Ω) .

В формуле (13) ρ , т. е. «плотность меры», понимается как обычная функция, если мера μ каждого многообразия размерности, меньшей k (определенного одним или несколькими уравнениями, связывающими координаты t), равна нулю; так будет, в частности, если плотность меры всюду конечна.

В противном случае ρ надо понимать как обобщенную функцию.

Если в рассматриваемом пространстве введено понятие объема, то возможно и интегрирование по объему, который является частным случаем меры. Тогда должен быть известен объем бесконечно малого обобщенного координатного параллелепипеда

$$d\Omega = h(t_1, \dots, t_k) dt_1 dt_2 \dots dt_k, \quad (14)$$

после чего интеграл

$$\int_{(\Omega)} u d\Omega$$

преобразуется подобно (13).

Аналогично вводится понятие интеграла (по мере или по объему) по любому многообразию размерности меньше k в основном k -мерном пространстве. Если в обычном трехмерном пространстве возможны криволинейные, поверхностные и объемные интегралы, то в k -мерном пространстве имеется k типов интегралов.

В k -мерном числовом пространстве E_k в формуле (14) полагают $h \equiv 1$, т. е. за единицу объема принимают объем «единичного k -мерного куба» со сторонами, равными 1. Интегралы низшей кратности в этом пространстве определяют, исходя из того, что p -мерный объем ($1 \leq p < k$) p -мерного

прямоугольного параллелепипеда, конечного или бесконечно малого, равен произведению его сторон (это — *мера Лебега*).

Можно рассматривать *интегралы по координатам*, распространенные по p -мерному ($1 < p < k$) многообразию (S) в E_k . При этом (S) должно быть *ориентированным*. Это понятие при $p > 1$ не совсем наглядное и требует уточнения, которое мы сейчас сделаем.

Введем сначала понятие *p -мерного тетраэдра*. По определению одномерным тетраэдром считается отрезок, двумерным — треугольник, трехмерным — треугольная пирамида; чтобы получить четырехмерный тетраэдр, выбирают точку вне трехмерного пространства, в котором расположен трехмерный тетраэдр, и соединяют ее отрезками со всеми точками последнего и т. д. Рассмотрим теперь какой-либо p -мерный тетраэдр с вершинами A_1, A_2, \dots, A_{p+1} . Ориентация его задается перечислением этих вершин в определенном порядке; при этом считается, что перестановка порядка двух вершин меняет ориентацию на противоположную. Например, для трехмерного тетраэдра с вершинами A, B, C, D порядок $ABCD$ и $DBAC$ определяют одну и ту же ориентацию, а порядок $CBAD$ — противоположную. Каждый тетраэдр можно ориентировать двумя способами.

Если на многообразии (S) произвольно выбрать малый p -мерный тетраэдр, произвольно ориентировать его, а затем перемещать по (S) , не меняя его ориентации, то исходная ориентация индуцирует ориентацию всех малых p -мерных тетраэдров на (S) , т. е. (S) будет ориентировано. При $p = 1$ многообразие (S) является линией и указанный способ равносителен заданию на ней определенного направления; при $p = 2$ многообразии (S) является двумерной поверхностью и ориентация равносителна указанию направления обхода контура любой малой фигуры на (S) . Если (S) состоит из нескольких кусков, то их ориентацию можно проводить независимо друг от друга.

Следует иметь в виду, что при $p \geq 2i$ некоторые многообразия ориентировать невозможно. Простейшей неориентируемой поверхностью является *лист Мёбиуса* (рис.9).

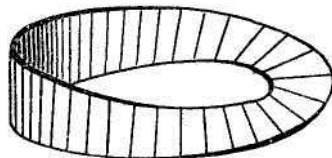


Рис. 9

p -мерный интеграл по координатам, взятый по p -мерному ориентированному многообразию (S) в E_k , определяется так:

$$\int_{(S)} \dots \int u(t_1, \dots, t_k) dt_{m_1} dt_{m_2} \dots dt_{m_p} = \lim \sum_{k=1}^n u(M_k) \Delta S_k', \quad (15)$$

где в правой части (S) считается разбитым на малые тетраэдры (ΔS_k) , ориентированные в соответствии с ориентацией (S) , а под $\Delta S_k'$ понимается p -мерный объем проекции (ΔS_k) на плоскость координат $t_{m_1}, t_{m_2}, \dots, t_{m_p}$, взятый со знаком $+$ или $-$ в зависимости от того, совпадает или нет ориентация этого спроектированного тетраэдра с ориентацией тетраэдра $OC_{m_1}C_{m_2}\dots C_{m_p}$, где C_m — единичная точка на оси t_m . При этом все индексы m_1, m_2, \dots, m_p должны быть различными, так как в противном случае интеграл (15) считается равным нулю.

Свойства интеграла (15) аналогичны свойствам интегралов, описанным в п. 3, за исключением свойств, связанных с интегрированием неравенств. При перемене ориентации (S) или при перестановке двух дифференциалов под знаком интеграла он множится на -1 . Рассматривают также суммы интегралов вида

$$\int_{(S)} \dots \int \sum_{m_1, \dots, m_p=1}^k u_{m_1, \dots, m_p}(t_1, \dots, t_k) dt_{m_1} dt_{m_2} \dots dt_{m_p}. \quad (16)$$

Частным случаем такого интеграла является интеграл по координатам, взятый по обычной ориентированной двумерной поверхности в обычном трехмерном пространстве x, y, z ;

$$\iint_{(S)} P(x, y, z) dx dy + Q(x, y, z) dy dz + R(x, y, z) dx dz.$$

При расстановке пределов в интеграле (15) можно выразить в подынтегральной функции через t_{m_1}, \dots, t_{m_p} значения остальных координат t для точек многообразия (S) ; затем разбить (S) на части, проекции которых на плоскость $t_{m_1} \dots t_{m_p}$ ориентированы одинаково, после чего расставить пределы по каждой из этих проекций, как в обычном p -мерном интеграле по объему (одни из этих интегралов войдут в итог со знаком $+$, а другие со знаком $-$). Можно также перейти на (S) к каким-либо подходящим криволинейным координатам s_1, \dots, s_p , заменив под интегралом

$$dt_{m_1} \dots dt_{m_p}$$

на

$$\frac{D(t_{m_1}, \dots, t_{m_p})}{D(s_1, \dots, s_p)} ds_1 \dots ds_p,$$

5.5. Реквизиты — базовые элементы информации

Каждая представляемая информацией истина (объект, процесс, явление) имеет ряд характерных для нее свойств (черт, признаков, параметров, характеристик, моментов). Например, свойствами материала являются его вес, габариты, сорт, цена, номенклатурный номер и др. Свойствами-признаками, характеризующими такую сущность, как организация-покупатель, представляются его наименование, ведомственная принадлежность, адрес, номер расчетного счета в банке и др. **Свойства физической истины** отображаются с помощью переменных величин, являющихся базовыми (элементарными) единицами информации — реквизитами.

Реквизит — это логически неделимый элемент любой сложной информационной совокупности, соотносимый с определенным свойством отображаемого информацией истины (объекта, процесса или явления). **Из реквизитов компонуются все остальные, более сложные информационные конструкции.** Единицы информации любой сложности можно последовательным разложением на составляющие компоненты (декомпозицией) расчленить до таких составляющих — **переменных величин, которые не поддаются дальнейшему логическому разбиению, т. е. реквизитов.** Дальнейшее членение реквизита на более мелкие составляющие — **символы (символы в свою очередь—на биты, биты— на последовательность электронных импульсов и т. д.)** разрывает его привязку к определенному свойству объекта (процесса, явления), **нарушает информативность.**

В литературе по теории информации также часто используются такие **синонимы понятия «реквизит»,** как элемент, поле, терм, признак, атрибут, переменная, элементарная единица информации и др.

Информация отражает реальный мир с характерной для него взаимосвязью и взаимообусловленностью истин. Поэтому одно и то же свойство может наблюдаться у нескольких разных истин. Например, признак «дата» необходим и при фиксации процесса труда, и при передаче сведений о выполнении работы, и при отражении поступления материальных ценностей, и во многих других случаях. Более того, одно и то же значение реквизита может быть присуще нескольким различным по характеру сообщениям. Например, признак «склад № 3» может фигурировать в сообщениях о поступлении от поставщиков сырья, передаче полуфабрикатов со склада на склад, сдаче готовой продукции, ремонте помещения, премировании работников и т. д.

Для определения понятия каждого из множества окружающих нас предметов, явлений необходимо найти то особенное, что отделяет его от

других предметов или явлений, что **выражает его внутреннюю суть**. Это «особенное» представляется в виде качественных определенностей, присущих отдельным разновидностям или их группам. **Многообразие форм движения материи обуславливает и многообразие форм качественной определенности.**

Качественная определенность проявляется через совокупность всех присущих понятию свойств, каждое из которых конкретно выражает какую-либо его сторону, какой-либо один его момент. **Истины, обладающие различными свойствами (признаками), по-разному действуют на органы чувств человека и вызывают различные ощущения, благодаря чему и создается возможность их градации и индивидуализации.**

Некоторые из свойств (признаков) присущи лишь единичным экземплярам и поэтому называются индивидуальными. Например, индивидуальными признаками отличаются друг от друга животные одного вида, станки одной модели, товары одного наименования. По словам К. А. Тимирязева, **в природе не существует двух форм, вполне тождественных**. На факте существования определенных отличительных признаков у отдельных индивидов основана вся теория Ч. Дарвина о происхождении видов путем естественного отбора. **Благодаря индивидуальным признакам, являющимся таким образом признаками различия, даже две капли воды различаются между собой.**

Другие свойства (признаки) распространяются на многие экземпляры, являются общими для нескольких истин. Например, общие признаки имеются у материальных ценностей различных наименований, объединенных в одну группу, у сооружений одного назначения. Благодаря им можно найти сходные черты даже в самых различных вещах. Как известно, **различные истины становятся количественно сравнимыми лишь после того, как они сведены к одному и тому же единству**. Только как выражения одного и того же единства они являются одноименными, а следовательно, соизмеримыми величинами.

Всякое понятие включает в себя общие и индивидуальные свойства. Как известно, у двух различных истин, всегда имеются известные общие качества, другие качества отличаются между собой по степени, наконец, иные качества могут совершенно отсутствовать у одной из этих истин.

Следовательно, **главное назначение признаков — указание тех особенностей, которыми одна истина отличается от других**, т. е. индивидуализация сообщений, устранение возможностей смешения фактов и искажения информации и представление таких свойств, которые могут послужить в последующем основой для обобщения.

Реквизит обладает некоторой самостоятельностью и имеет особые, характерные для него черты. Так, он может входить в самые разнообразные составные единицы информации, относящиеся к различным истинам и имеющие различную сложность, так же, как какое-либо слово может входить в состав самых различных предложений.

Это свойство реквизита находит свое отображение в его форме, всесторонне характеризующей реквизит вне зависимости от его конкретного вхождения в ту или иную составную единицу информации.

Форма реквизита включает его наименование, структуру (формат), значение или совокупность значений и некоторые другие свойства.

Наименование реквизита (имя) служит для обращения к нему и обычно представляется словом или группой слов (например, «индивидуальный код налогоплательщика»), названием определенной графы (строки) входного или выходного документа, номером, условным кодом, адресом на носителе (магнитном диске, флешке и др.) или в памяти ЭВМ. При алгоритмизации и программировании с целью компактного написания чаще используют **сокращенные имена** — **идентификаторы**. Идентификаторы обычно имеют ограничения на длину, используемый алфавит и сферу действия. В некоторых случаях допускается также употребление синонимов наименований реквизита.

Целесообразно, чтобы **основное имя** — **идентификатор реквизита** — было закреплено за ним вне зависимости от того, используется ли этот реквизит в той или иной составной единице информации, в той или другой подсистеме. В этом случае обеспечивается ряд преимуществ при создании баз данных и совместимости различных информационных систем.

Точность же обращения к конкретному реквизиту достигается применением уточняющих указателей.

Каждому реквизиту присуще некоторое множество значений в зависимости от характеристик того свойства сущности, которое информационно отображает данный реквизит. **Это множество будем называть областью определения реквизита, или классом значений.**

Область определения, например, для параметра «температура больного» одна, для признака «пол больного» — другая, для реквизита «код цеха» — третья.

Таким образом, **значение реквизита** является одним из элементов множества значений области определения данного реквизита, отображающей соответствующее состояние (из множества состояний) того свойства истины, которое характеризует реквизит. Так, текущим значением реквизита «температура больного» может быть «37,4°», а реквизита «пол больного» — «мужской». Другими словами, **значение**

реквизита используется для представления значения соответствующего свойства истины.

Выбор формы представления значений некоторого свойства истины прямо зависит от его природы и по возможности должен в максимальной мере способствовать приближению информационного отображения к естественной характеристике свойства. Так, свойству «вес груза» наиболее соответствует числовое представление определенного реквизита (в установленных единицах измерения и с заданной точностью), свойству «тип упаковки» — словесное описание, а утверждение о предъявлении документов к оплате — логическое значение истинности или ложности.

Структурой реквизита называется способ представления его значений. В структуре различают ***длину, тип и формат реквизита.***

Длина реквизита есть число символов, которые образуют его значение. Длина реквизита может быть постоянной или переменной. Например, значение реквизита «код цеха», как правило, является двузначным, значение реквизита «количество сданных на склад деталей» может занимать от одной до семи позиций, значение реквизита «потребность некоторого материала на годовую программу предприятия» может занимать от одной до шести позиций до запятой, отделяющей дробную часть от целой, и от одной до пяти позиций после запятой, значение реквизита «наименование материала» может занимать до 120 позиций.

Типы реквизитов зависят от видов значений. Наиболее распространены ***числовой, текстовой и логический типы.***

Реквизиты числового типа характеризуют количественные свойства истин, полученные в результате подсчета натуральных единиц, измерения, взвешивания, вычисления на основе других количественно-суммовых данных и т. п. **Значениями таких реквизитов являются числа.**

Выделяется несколько типов числовых величин в зависимости от класса чисел, системы счисления, фиксации десятичной запятой, упаковки и других характеристик; накладываются ограничения на диапазон чисел, форматы их представления при вводе-выводе и на различных носителях даже в рамках одной реализации. **Реквизиты числового типа активно используются в различных арифметических преобразованиях, а большинство из них создается в результате таких преобразований.**

Особую роль играют реквизиты числового типа, принимающие только целочисленные значения. Такие реквизиты могут выступать в качестве реквизитов-признаков.

Реквизиты текстового типа выражают, как правило, качественные свойства истин и характеризуют обстоятельства, при которых имел место изучаемый процесс и были получены те или иные числовые значения.

Такие реквизиты называются **признаками**.

Реквизиты текстового типа могут использоваться в качестве операндов в арифметических и логических выражениях. Более того, значения таких реквизитов могут быть получены в результате арифметических или логических преобразований.

Специальными свойствами реквизитов являются признаки редактирования и преобразования, замок защиты, индикация наличия значения или множества значений, даты изменения значений и др.

Реквизиты логического типа принимают только два значения: истинность или ложность. Используются они в логических выражениях.

Будем считать, что над реквизитами определены арифметические и логические операции, понимаемые в обычном математическом смысле, текстовые операции и операции отношения как операции реляционной алгебры.

Значениями реквизитов являются последовательности символов (букв, цифр, различных знаков и специальных обозначений), называемые строками или текстом.

Полный набор всевозможных попарно различных символов данной информационной системы составляет ее алфавит. Состав алфавита зависит от применяемых технических средств обработки данных, особенностей обрабатываемой информации и других факторов. Причем на различных стадиях обработки и даже в рамках одной вычислительной системы возможно применение различных алфавитов. От размера алфавита (число разнообразных символов, которые могут быть в одном разряде величины) и его состава (набор) зависит решение проблем кодирования и декодирования, компактной записи значений единиц информации, эффективного хранения данных, ускорения их поиска, передачи, ввода и вывода из ЭВМ в наиболее удобной для пользования форме, снижения затрат на всевозможные перезаписи. Поэтому выбор алфавита придает особое значение.

В значениях реквизитов текстового типа возможное применение тех или иных символов ограничено алфавитом, используемым для данной реализации на заданной стадии обработки. При этом возможно наложение ограничений на общую длину значения реквизита (строку, текст) и на набор символов для той или иной позиции в строке. Так, допустимо ограничение текста какого-либо признака или части его символов только цифрами, либо только буквами, либо лишь **двоичными цифрами — битами**. Чаше всего, однако, допустимо использование в той или иной позиции текста любого символа выбранного алфавита.

Всевозможные преобразования значений текстовых единиц информации сводятся в большинстве случаев к манипулированию символами. Изучению аппарата такого манипулирования придается

особое значение. Так, для алгоритмического описания процессов оперирования с символами разработан ряд специализированных алгоритмических языков, а каждый из современных развитых алгоритмических языков универсального назначения, как правило, имеет аппарат для оперирования с текстовыми величинами.

Тексты представляют собой типичные единицы данных последовательного типа, и для удобства их обработки и обращения к отдельным элементам текста — символам они последовательно нумеруются с 1 по n . Если длина текста фиксирована, то n является константой. Если же длина переменна, то n тоже является переменной, а конец текста определяется специальным ограничителем. Тем самым создается возможность введения индекса позиций строки и адресации к тем или иным позициям.

Ограничения на используемый алфавит в различных позициях текста достигаются с помощью *специальной маски, называемой форматом* (иногда — шаблоном) и содержащей информацию о том, для каких позиций применимы те или иные подалфавиты. Например, запись формата A(5)X(3) 9(2)1(4) означает, что в первых пяти позициях текста допустимы только буквы, в следующих трех — любые символы, в девятой и десятой позициях — только десятичные цифры и в последних четырех — лишь двоичные цифры (0 или 1).

Часто значениями признаков может быть текст, выраженный цифрами. Например, полному наименованию материала «пятижильный кабель с сечением жил 2 мм» может соответствовать условный сокращенный код — номенклатурный номер «2870520». Применение кодов существенно облегчает машинную обработку данных. Запись кодами быстрее и компактнее, их введение позволяет строго систематизировать и классифицировать объекты планирования, учета и управления, устранять омонимию и синонимию. Кодирование облегчает группировку информации в необходимых для сводки разрезах, упрощает поиск данных в больших и сложных массивах.

Значения реквизитов числового типа могут быть представлены в десятичной, шестнадцатеричной, восьмеричной, двоичной и других системах счисления. **Значения реквизитов, отображенные двоичными цифрами (0 и 1), обычно называют битовыми строками, или строками бит.** В некоторых алгоритмических языках введен специальный тип данных — битовый.

Цифровые коды, представленные целочисленными значениями, можно отнести к текстовому типу, т. е. ими можно оперировать, независимо от системы счисления, как с любой строкой символов; обращаться к нужной позиции; удалять некоторые цифры или цифры заданных позиций, заменять их на другие цифры; производить вставки,

переиндексацию позиций, обработку строки по позициям по определенному алгоритму и т. д., считая строку одномерным массивом, значением каждой отдельной позиции которого является некоторый символ, в данном случае только из подмножества алфавита — цифрового подалфавита.

По своему характеру цифровые коды являются числами (чаще всего целыми) и могут подвергаться арифметической обработке. Поэтому **необходимы преобразования типов величин** — перевод кодов в числа и наоборот (перевод кодов из одной системы счисления в другую и даже перекодировка алфавитных строк в цифровые на основе цифровых эквивалентов (весов), приписанных отдельным символам алфавита, и наоборот). Подобные преобразования выполняются с помощью специальных средств в виде набора операций, функций (в том числе библиотечных), подпрограмм и т. п., при этом используются описания реквизитов. В частности, при преобразовании чисел в текст используются форматы, определяющие длину целой и дробной частей числа (его мантиссы), положение десятичной запятой, размещение операционного знака (плюса или минуса), условия гашения и замены другими обозначениями незначащих нулей и др.

С помощью форматов, указателей типов и других средств описания реквизитов ограничивается класс их значений - подмножество значений для возможного присвоения той или иной величине. Для признаков область определения значений (подалфавит) может быть, как отмечалось, определена и для любой позиции строки.

Кроме того, область определения значений может быть установлена явным перечислением всех конкретных значений — строк в одном из нескольких вариантов их возможного представления. Так, для признака «месяц» класс значений может быть явно ограничен по описанию лишь двенадцатью возможными значениями и одним из подходящих конкретных написаний: либо полными названиями месяцев (январь, февраль и т. д.), либо их сокращениями (например, янв., февр. и т. д.), либо римскими цифрами, либо арабскими и т. д.

Так как общее количество значений одного реквизита-признака конечно, область определения значений может быть представлена полным перечнем — **массивом всех его значений, обычно называемым номенклатурой данного признака и создаваемым на практике для классификаторов и при кодировании значений признака**. Следовательно, значение реквизита-признака есть значение одной из позиций номенклатуры. Например, признак «категория качества изделий» может принимать одно из трех значений, составляющих номенклатуру значений этого признака. Тогда одним из значений этого признака может быть, например, «высшая категория качества».

Реквизит логического типа (часто именуемый **булевым**) может принимать одно из двух значений: истинность или ложность. В текстовой интерпретации значению истинности могут соответствовать символы «1», «+», «И», слова «да», «истина» и т. д., значению ложности — символы «0», «—», «Л», слова «нет», «ложь» и т. д.

Переменные логического типа используются для отображения таких свойств истин, которые по своей характеристике можно разделить на две противоположные группы, например присутствует какой-то признак или отсутствует, наступил или нет некоторый момент, перешло или нет явление некоторую грань, выдержано определенное условие или нет, положительная величина или отрицательная и т. д. Примерами переменных логического типа могут быть знак величины (плюс или минус), признак избыточности, переполнения, завершения, годности и т. п.

Над логическими величинами осуществляются операции математической логики (отрицания, конъюнкции, дизъюнкции, импликация и др.); они участвуют в логических выражениях, вычисляемые значения которых (истинность или ложность) в свою очередь присваиваются реквизитам логического типа.

В практике обработки данных часто применяют также **логические шкалы (векторы)** — **одномерные массивы логического типа**, значением каждой позиции которых является истинность или ложность. Так, какому-либо основному массиву M длиной N позиций может быть поставлен в соответствие вспомогательный массив логического типа L той же длины и при изменении данных в i -й позиции массива M заносится 1 в ту же позицию массива L . Тогда позиции, соответствующие значению истинности в массиве L , будут указывать на позиции основного массива M , подвергшиеся изменениям. Этот пример также поясняет суть преобразования логического массива в строку бит и обратного преобразования, заключающегося в установлении соответствия между корреспондирующими позициями строки бит и логического массива.

В некоторых случаях встречается объявление специальных типов данных: географических координат (для выражения долготы и широты в градусах, минутах и секундах), времени (часы, минуты, секунды), даты (год, месяц, день) и др.

5.6. Составные единицы информации

Каждая из наблюдаемых истин характеризуется рядом присущих ей свойств. Но точно так же, как взятое в отдельности любое свойство еще не представляет истину (объект, процесс) в целом, так и изолированно

взятый тот или иной референт, характеризующий своим значением одно из свойств истины, не может представлять законченного сообщения о наблюдаемой истине (объекте, процессе). Требуется некоторая взаимосвязанная совокупность референтов для того, чтобы воспроизвести некоторое сообщение об истине, определенную информацию о явлении. Каждое j -е свойство в сообщении C_i представлено значением определенного референта R_j :

$$C_i = (R_1, R_2, \dots, R_j, \dots, R_m),$$

где референты R_i могут быть и признаками, и числовыми переменными-основаниями.

Референт-признаком называется такой референт, значение которого определяет некоторое **обстоятельство действия** (место действия, действующих лиц, предметы и продукты труда, время и др.).

Референт-основание — это такой референт, значение которого определяет некоторую **меру действия** (количество или стоимость предметов и продуктов труда, норму выработки или времени и др.).

Чаще референт-основание является референтом числового типа (иногда его называют количественным).

Каждый референт в сообщении имеет лишь одно значение (строку или число). Однако поскольку одна и та же истина (допустим, факт отпуски изделий покупателям) фиксируется многократно с возникновением каждый раз нового сообщения, значения любого референта R_j меняются в зависимости от обстоятельств.

Каждое из сообщений, отображающих какой-либо один отличительный факт, глубоко индивидуально, поскольку варьируются значения по составным свойствам истин. Так, при отпуске готовых изделий покупателям сообщения могут фиксироваться по каждому из складов, по каждому из наименований продукции, для каждого из покупателей, каждый день и т. д. В связи с меняющимися значениями свойств этой истины все сообщения будут отличаться друг от друга.

Так как каждый из m референтов сообщения C_i может принимать одно из K_j значений, где K_j —длина номенклатуры для референта-признака и диапазон значений для референта числового типа, то потенциально множество значений сообщения данного вида равно произведению

$$\prod_{j=1}^m K_j.$$

В действительности, однако, из-за наличия определенной логической взаимосвязи референтов, различной вероятности появления отдельных значений референта и сочетаний значений разных референтов множество значений меньше теоретически возможного, но тем не менее, как правило, велико.

Каждое сообщение в множестве сообщений данного вида отличается

от другого значением хотя бы одного из входящих в сообщение реквизитов. Все множество этих сообщений объединяется в один вид благодаря одинаковому составу свойств, отображаемых реквизитами, или структурой сообщения.

Структурой сообщения объединяется некоторая совокупность разных реквизитов, т. е. в данном случае некоторое более сложное по структуре информационное образование, состоящее из **элементарных единиц информации — реквизитов**.

Единицу информации, состоящую из совокупности других единиц информации, ассоциативно связанных между собой некоторыми отношениями, назовем **составной единицей информации (СЕИ)**, или просто составной. **Единицу информации, входящую в СЕИ, назовем составляющей единицей информации**, или просто составляющей. В рассмотренном выше примере в качестве составляющих использовались реквизиты R_1, R_2, \dots, R_m .

Составляющая единица информации может быть по положению в структуре, в свою очередь, составной единицей информации, но более низкого уровня, чем СЕИ, в состав которой входит эта составляющая. Наоборот, СЕИ может быть составляющей, если она находится в структуре не на первом (для СЕИ) уровне, а в составе другой, более укрупненной СЕИ.

Для каждой СЕИ будем различать ее наименование, структуру, значение и некоторые специальные свойства.

Наименование СЕИ (или имя) служит для обращения к ней и обычно представляется словом или группой слов, например «движение материалов за месяц». Чаще используются сокращенные названия СЕИ — идентификаторы. **Для однозначной трактовки возможных употреблений синонимов СЕИ применяется тезаурус СЕИ.**

Структурой СЕИ называется ее реквизитный состав с учетом иерархического вхождения СЕИ более низкого уровня в состав рассматриваемой СЕИ. Рекурсивность определения структуры СЕИ обеспечивает возможность построения весьма сложных информационных конструкций, вплоть до интегрированных баз данных.

Под *значением* СЕИ понимается некоторая конструкция, в которой каждому реквизиту, входящему в структуру СЕИ, присвоено значение или некоторое множество значений.

Для СЕИ могут быть определены арифметические, логические и текстовые операции, а также операции отношения.

При *арифметических операциях* каждый реквизит, входящий в структуру СЕИ, участвует в арифметических операциях над реквизитами, ему может быть присвоено некоторое значение или множество значений.

При *логических операциях* СЕИ рассматривается как некоторая

переменная булевского типа, которой может быть присвоено значение этого же типа.

При *операциях отношения* СЕИ рассматривается как множество значений, над которыми определены операции реляционной алгебры. Естественно, что при выполнении операций СЕИ выступают в качестве операндов соответствующих выражений.

Примером составной единицы информации может быть некоторое множество документированной информации (также относимой к структурированной). **Такая информация может быть представлена на любом носителе данных. Именно анализ такой информации позволяет в определенной мере изучить состав, внутреннее строение и свойства обрабатываемой информации и информации, получаемой в результате обработки.**

Поскольку в теории информации документ служит основным средством регистрации отдельных факторов (признаков) истин, основным способом определения характера информации является анализ содержания и структуры документов.

В частности, содержание всех документов предприятия в совокупности фактически отображает всю его деятельность в том виде, в каком она была зафиксирована и зарегистрирована управленческим аппаратом, в каком весь трудовой процесс был представлен в результате определенных экономических обобщений и оперирования первоначальными данными. **Многочисленные факты и операции хозяйственной жизни предприятия отражаются документами.** Варианты регистрации могут быть самыми разнообразными в зависимости от объема и характера производства, количества рабочих, производственной структуры предприятия, формы бухгалтерского учета и методики планирования, технической оснащенности управленческого аппарата, методов исчисления готовой продукции и т. д. Характер документирования каждой отдельной хозяйственной операции зависит от конкретных особенностей и условий ее осуществления и в связи с этим оформление одной и той же операции не одинаково для разных предприятий и организаций. Поэтому и количество форм документов, в которых регистрируется на предприятиях даже отнотипное явление (например, расход материалов на производство), имеет много разновидностей. Так, существующие на предприятиях формы лимитной карты отличаются наличием или отсутствием некоторых реквизитов, их расположением и пр. Форма одного и того же наименования и назначения может быть в одном случае чрезвычайно сложной, другом — простой.

Рассмотрим в качестве примера **информационную совокупность, отражающую информацию**, которая содержится в таком распространенном документе, как приказ-накладная на отпуск готовых

изделий (табл. 1).

Таблица 1

C21	P1		P2	P3	P4	
	ПРИКАЗ-НАКЛАДНАЯ НА ОТПУСК ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ № 19		Дата 8.11.84	ВИД ОПЕРАЦИИ 51	СКЛАД 4	
C22	ПОЛУЧАТЕЛЬ					
	НАИМЕНОВАНИЕ	КОД	АДРЕС			
	Завод МЛЗ*	132	г. Москва, ул. 1 Мая, 1			
C11	P5				P6	P7
	ПЛАТЕЖНОЕ ТРЕБОВАНИЕ № 899 ОТ 8 февраля 1984				C31	
	ВИД УПАКОВКИ		Ящики		P10	
	СТАНЦИЯ НАЗНАЧЕНИЯ		г. Москва-Тюфариная 11		P11	
C23	ОСНОВАНИЕ		Договор № 20 от 6.01.84			P12
	P13		P14	Q1	C32	Q4
C12	Наименование, сорт, размер	Номен-клатур-ный номер	Цена	Количество		Сумма
				по на-ряду	отпу-щено	
	C12.(1) Подшпигники	11250	2—50	100	100	250—00
	C12.(2) Кольца СЧ-15	11781	1—25	30	27	33—75
	C12.(3) Сепараторы	12261	1—15	180	180	207—00
	C12.(4)				Q2	Q3
	C12.(5)					
C12.(6)						
C13	P15		P16	P17	P18	
	ОТПУСК РАЗРЕШИЛ	ВИЗА ГЛАВНОГО БУХГАЛТЕРА	ОТПУСТИЛ	ПОЛУЧИЛ		
	Ильин	Зуев	Осин	Кузин		

Форму этого документа можно условно разбить на три части: общую, предметную и оформительную (подписи). Следовательно, представленную этим документом СЕИ *S* соответственно можно разбить на три информационные совокупности — составные единицы информации: C11 (общая часть), C12 (предметная часть) и C13

(оформительная часть), что можно представить записью: S ($C11$, $C12$, $C13$), где S — идентификатор СЕИ S , точка — знак иерархического отношения (подчинения), а ($C11$, $C12$, $C13$) — составляющие по отношению к составной S , запятые между ними — знаки отношения следования в рамках одного уровня. Запись можно прочитать так: «Составная S состоит из составляющих $C11$, $C12$ и $C13$ ».

Составляющая $C11$, представляющая общую часть документа, в свою очередь является СЕИ и включает три составляющих:

$C11$ ($C21$, $C22$, $C23$).

СЕИ $C21$ также является составной и включает четыре составляющие следующего уровня ($P1$ — номер накладной на отпуск готовых изделий, $P2$ — дата, $P3$ — вид операции, $P4$ — код склада), причем все они являются реквизитами-признаками:

$C21$. ($P1$, $P2$, $P3$, $P4$).

СЕИ $C22$ (данные о получателе) содержит три элемента ($P5$, $P6$ и $P7$ — наименование, код и адрес получателя), являющихся реквизитами-признаками:

$C22$. ($P5$, $P6$, $P7$).

Несколько сложнее структура информационной совокупности $C23$ из общей части документа: $C31$ — данные о платежном требовании, $P10$ — вид упаковки, $P11$ — станция назначения и $P12$ — основание для сделки. Однако ее составляющий элемент $C31$ в свою очередь является СЕИ, содержащей два элемента: номер платежного требования — $P8$ и дату выписки платежного требования — $P9$.

Структура $C23$ может быть записана так:

$C23$. ($C31$. ($P8$, $P9$), $P10$, $P11$, $P12$).

Рассмотрим теперь предметную часть документа — СЕИ $C12$. Это составная единица информации, поскольку содержит пять элементов: $P13$ — наименование, сорт, размер; $P14$ — номенклатурный номер; $Q1$ — цена; $C32$ — количество; $Q4$ — сумма. $C32$ состоит из двух элементов: $Q2$ — количество по наряду и $Q3$ — количество отпущенное. СЕИ $C12$ можно записать следующим образом:

$C12$. ($P13$, $P14$, $Q1$, $C32$. ($Q2$, $Q3$), $Q4$).

Такая формулировка была бы справедливой, если бы составная $C12$ представляла лишь одно сообщение. Однако, как видно из табл. 1, приводятся три сообщения (значения СЕИ), а может быть дано до шести сообщений (если заполнить все строки). Для указания такой особенности СЕИ используются специальные средства.

Единица информации одной формы, представляющая только одно значение в некоторой конструкции, называется *простой*, а представляющая несколько значений в некоторой конструкции, — *массивом*. Составная единица информации только с одним значением в

некоторой конструкции называется простой составной, а СЕИ, имеющая несколько значений в некоторой конструкции, — составной-массивом.

В рассматриваемом случае к простым СЕИ относятся, например, составные $C11$, $C21$, $C22$, $C23$, $C31$. Составная $C12$ является СЕИ-массивом, и в ее описании необходимо объявить длину массива — максимально допустимое число позиций, предназначенных для значений. Как правило, указываются номер позиции (индекса) массива, с которой начинается нумерация (индексация) позиций (в большинстве случаев это 1), и номер его последней позиции, например для нашего случая 1:6, где двоеточие означает последовательную нумерацию (1, 2, ..., 6). Индекс, с помощью которого осуществляется адресация к той или иной позиции массива, может изменяться только в диапазоне этих двух чисел. Эту пару целых чисел обычно называют граничной парой, а сами числа — соответственно нижней и верхней границами массива (по данному его измерению; для матрицы, естественно, требуются две граничные пары). В качестве нижней и верхней границ допускаются и переменные, а во многих алгоритмических языках — и арифметические выражения, вычисляемые к моменту точного определения длины массива. Для массивов с переменной длиной используются также специальные указатели (отметки) конца массива.

Примерами описаний массивов разной размерности могут служить записи: $A.(1 : N)$, $B.(I : K, 1 : N)$, $C(1 : 5, 1:8, 1:4)$, $D.(M : N)$, $E.(K + 1 : K + N)$.

Для составной-массива $C12$ соответственно следует записать $C12.(1 : 6)$, и с учетом этого формулировкой СЕИ-массива $C12$ будет $C12.(1:6).(P13, P14, Q1, C32.(Q2, Q3), Q4)$.

Оформительная часть документа $C13$ состоит из четырех реквизитов: $P15$ — отпуск разрешил, $P16$ — виза главного бухгалтера, $P17$ — отпустил, $P18$ — получил:

$C13.(P15, P16, P17, P18)$.

В конкретных условиях, например промышленного предприятия, приказ-накладная на отпуск готовых изделий представляется некоторым множеством документов, отражающим совокупность хозяйственных операций по отпуску готовых изделий. Следовательно, этот документ является массивом. Структура СЕИ-массива S из M позиций может быть представлена следующей записью:

$S.(1 : M). (C11. (C21. (P1, P2, P3, P4),$

$C22. (P5, P6, P7),$

$C23. (C31.(P8, P9), P10, P11, P12),$

$C12. (1:6).(P13, P14, Q1, C32. (Q2, Q3), Q4),$

$C13. (P15, P16, P17, P18)$.

Графическая интерпретация структуры этой СЕИ дана на рис. 10, где

висячие вершины дерева представляют собой реквизиты, из них реквизиты-признаки имеют идентификаторы, начинающиеся буквой *P*, а реквизиты-основания—идентификаторы, начинающиеся буквой *Q*. Остальные вершины — это СЕИ, являющиеся промежуточными и составляющими по отношению к основной составной *S*.

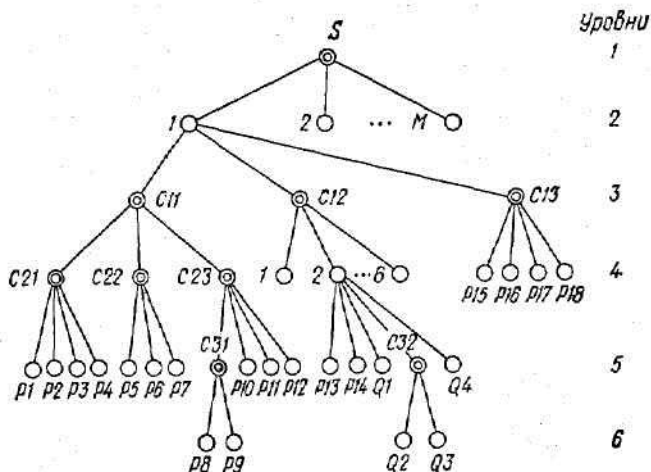


Рис. 10. Графическая интерпретация структуры СЕИ-массива *S* из *M* позиций

Вспомогательная роль таких промежуточных составных особенно выявляется при перестроении структуры СЕИ, когда каждая позиция составного массива будет иметь свой самостоятельный набор значений всех реквизитов, что позволяет обрабатывать этот массив отдельно. В полученной СЕИ будут отсутствовать промежуточные СЕИ-составляющие. Пример составного массива *S* приказов-накладных на отпуск готовых изделий с такой преобразованной структурой иллюстрирует граф этой структуры (рис. 11), на котором число уровней СЕИ сократилось до трех, а длина массива *N* равна $6M$.

Такой структуре соответствуют матричная интерпретация и формулировка $S.(1 : N).(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, P_{15}, P_{16}, P_{17}, P_{18})$.

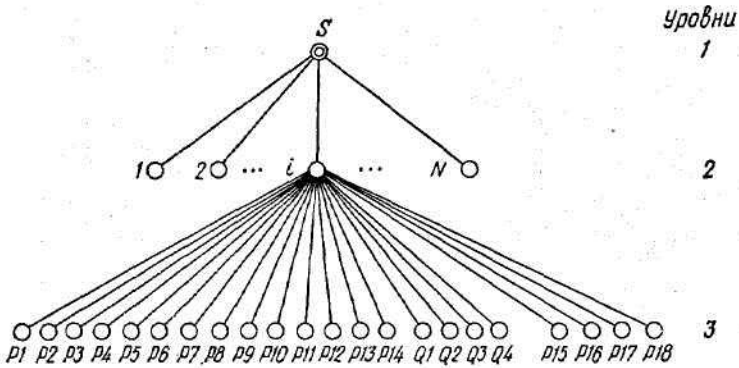


Рис. 11. Графическая интерпретация структуры СЕИ с преобразованной структурой

Сравнение двух структур одной и той же составной, особенно в их табличной интерпретации, показывает, что вторая более проста, но имеет увеличенный объем данных.

Структуру первого типа (рис. 12) называют ненормализованной, структуру второго типа (рис.13) — нормализованной.

С11													С12				С13																			
С21				С22			С23						P13	P14	Q1	С22		Q4	P15	P16	P17	P18														
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	С31		P10	P11	P12	Q2				Q3																				
Запись 1													1																							
													2																							
													3																							
													4																							
													5																							
													6																							
Запись 2													1																							
													2																							
													3																							
													4																							
													5																							
													6																							
Запись М													1																							
													2																							
													3																							
													4																							
													5																							
													6																							

Рис.12. Ненормализованная структура СЕИ S

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	Q1	Q2	Q3	Q4	P15	P16	P17	P18
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
N																						

Рис. 13. Нормализованная структура СЕИ S

Введение промежуточных составных позволяет устранить дублирование данных и создать определенные удобства для групповой адресации. Промежуточные составные называют *группами*, причем состоящие только из реквизитов (например, C21, C22, C31, C32 и C13 в первой структуре) — простыми, а имеющие в своем составе другие составные (группы) — сложными (например, C11, C12, C23).

Примерами простых групп могут также служить:

адрес, (область, город, улица, дом, квартира)

дата, (день, месяц, год)

товар, (наименование, номер, сорт, размер)

лицо, (фамилия, имя, отчество)

книга, (автор, название, том, издательство, год).

В качестве примеров сложных групп можно назвать:

работа, (цех, дата, лицо, изделие, операция)

водитель, (лицо, автомобиль)

адресат, (адрес, лицо)

товарополучатель, (товар, адресат).

В первой группе примеров все составляющие являются реквизитами, во второй большая часть из них — группы.

Синонимами термина «группа» также являются термины «сегмент», «агрегат», «набор» и иногда — «запись». Более часто под записью понимают значение одной позиции составной-массива (см. рис.12), или, другими словами, сообщение об одном из состояний наблюдаемой истины. Сама составная-массив при этом определении — совокупность

записей о множестве состояний объекта или множестве объектов наблюдаемого процесса (явления). Запись представляет собой совокупность значений реквизитов, входящих в состав этой СЕИ. Это же справедливо в отношении групп, совокупность значений каждой из которых иногда называют статьей. **В конечном итоге значение любой составной единицы информации, какой бы сложной она ни была и на каком бы уровне иерархии ни находилась, есть совокупность строк и чисел—значений составляющих реквизитов.**

5.7. Показатели

Показатель— составная единица информации, состоящая из одного реквизита-основания, отражающего тот или иной факт в **количественной или качественной оценке**, и ряда характеризующих его и связанных с ним логическими отношениями реквизитов-признаков (времени, места, действия, действующих лиц, предметов и продуктов труда и т. д.).

Общий вид показателя может быть представлен следующим образом:

$$П.(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n, Q),$$

где $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ — реквизиты-признаки; Q — реквизит-основание показателя.

Для показателя-массива общая формулировка включает указание длины массива (D):

$$П.(1:D). (P_1, P_2, P_3, \dots, P_n, Q).$$

Одна из причин выделения показателей в особую разновидность составных единиц информации заключается в том, что **показатель, по существу, является минимальной по составу информационной совокупностью, сохраняющей информативность, и поэтому достаточной для образования самостоятельного документа, который в дальнейшем может существовать даже изолированно от информационной системы, имея свою форму и свой алгоритм получения.** Показатели представляются, с одной стороны, простейшими СЕИ, способными к документообразованию, а с другой — сложными образованиями информации, охватывающими описания многообразных качественных свойств и количественной характеристики истины и состоящими в силу этого из совокупности реквизитов.

По аналогии с СЕИ для показателя будем различать наименование (идентификатор) показателя, его структуру или форму, значение и некоторые специальные свойства. Отметим особенности этих понятий.

Структурой показателя называется его реквизитный состав. *Значение показателя* — это некоторая конструкция, в которой каждому реквизиту, входящему в показатель, присвоено конкретное значение из

соответствующей области определения.

Для показателя определим арифметические, текстовые, логические операции и операции отношения.

При *арифметических операциях* каждый реквизит, входящий в показатель, участвует в арифметических операциях над реквизитами, при этом ему может быть присвоено конкретное значение из соответствующей области определения. При *текстовых операциях* реквизиты, входящие в показатель, участвуют в текстовых преобразованиях и им может быть присвоено **текстовое значение (строка)**. Числовое значение реквизита-основания для таких операций предварительно преобразуется в текст. При *логических операциях* показатель выступает как некоторая переменная булевского типа, которой может быть присвоено значение этого же типа. При *операциях отношения* показатель рассматривается как множество значений, над которым определены операции реляционной алгебры.

Естественно, что **при выполнении операции над показателями они выступают в качестве операндов соответствующих выражений.**

Определим *функцию от показателя* как некоторое выражение, включающее арифметические, логические операции и операции отношения, в результате выполнения которого каждому реквизиту, входящему в показатель, будет присвоено значение из соответствующей ему области определения.

Так, $Y = F(\Pi)$,

где Π — показатель $\Pi(P_1, P_2, \dots, P_n, Q)$;

Y — показатель $Y(T_1, T_2, \dots, T_m, Z)$, означает, что заданы такие функции f_i , $i = 1, 2, \dots, m$ и f_{m+1} над реквизитами, что

$$T_i = f_i(P_j), \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n};$$

$$Z = f_{m+1}(Q).$$

Для общности можно обозначить $P_{m+1} = Q$, $T_{n+1} = Z$. Тогда

$$T_i = f_i(P_j), \quad i = 1, 2, \dots, m+1; \quad j = 1, 2, \dots, n+1.$$

Аналогично определяется функция от нескольких показателей

$$y = f(\Pi_1, \dots, \Pi_k).$$

Составную единицу информации любой сложности можно свести в конечном итоге к определенной совокупности различных показателей, каждый из которых будет иметь самостоятельный алгоритм получения. Такой процесс называется **декомпозицией СЕИ**. **Это одна из характерных особенностей теории информации.** Обратный процесс объединения нескольких показателей в одну СЕИ называется **композицией СЕИ**. Например, СЕИ приказа-накладной на отпуск готовых изделий (см. табл. 1) можно представить как четыре различных по структуре показателя: цена изделия (Π_n), количество изделий, зана-

ряженное на отпуск ($\Pi_{к.н}$), количество отпущенных со склада изделий ($\Pi_{к.о}$), сумма отпущенных со склада изделий (Π_c). Формулировка структуры каждого из них (для упрощения опущены номера документов, подписи и т. п.) имеет вид:

Π_c . (1: K). (P 13, P 14, Q1)

$\Pi_{к.н}$. (1:N). (P2, P3, P4, P5, P6, P7, P10, P11, P13, P14, Q2)

$\Pi_{к.о}$. (1: N). (P 2, P3, P 4, P5, P6, P7, P10, P 11, P 13, P 14, Q3)

Π_c . (1:N). (P 2, P 3, P 4, P 5, P 6, P 7, P 10, P 11, P 13, P 14, Q4).

Табличная интерпретация структур показателей приведена на рис.14.

Π_c			
	P13	P14	Q1
1			
2			
...			
K			

$\Pi_{к.н}$											
	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P10	P11	P13	P14	Q2
1											
3											
N											

$\Pi_{к.о}$											
	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P10	P11	P13	P14	Q3
1											
2											
N											

Π_c											
	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P10	P11	P13	P14	Q4
1											
2											
N											

Рис.14. Табличная интерпретация структур показателей

Заметим, что в обоих случаях массив показателей цен имеет длину K, отличную от длины составного массива приказов-накладных N.

Отдельно может существовать (в документе своей формы, на каком-то из носителей информации или в памяти машины) и каждый из остальных показателей. В возможности такого изолированного выделения и

обособленного рассмотрения с полным при необходимости абстрагированием от документов или других аналогичных носителей данных заключается одно из важных преимуществ **показателей как разновидности составных единиц информации**. При этом расчленение составной единицы информации на составляющие показатели (декомпозиция) с их обособленным дальнейшим существованием не означает нарушения связи между ними и сохраняет возможность последующего объединения (композиции) при необходимости в СЕИ более сложной структуры благодаря наличию в их составах одинаковых по форме признаков (родственности по форме) и, кроме того, некоторых признаков с одинаковыми значениями (родственности по значениям). Так, все признаки $P_{к.н}$, $P_{к.о}$ и P_c одинаковы по форме, т. е. их призначные части совпадают. Некоторые из признаков (P_2 , P_3 , P_4 , P_5 , P_6 , P_{10} и P_{11}) одинаковы по значению в пределах одной записи СЕИ, а другие совпадают по значениям соответствующих позиций (например, по одним и тем же номенклатурным номерам P_{14} из показателей $P_{к.н}$, $P_{к.о}$, P_c). Между тем для объединения двух различных показателей в одну СЕИ в принципе достаточно их совпадения (родственности) по форме.

Тогда СЕИ с одинаковыми значениями этого признака будут слиты. Так, показатели P . ($1 : N$). ($a, б, в, г, д, х$) и P .($1 : N$). ($к, л, м, д, у$), где x и y — основания, могут быть объединены в составной массив

C .($1 : N$).($a, б, в, г, к, л, м, д, х, у$) при условии, что реквизит-признак d из показателей P и P обозначает один и тот же реквизит. При слиянии значений показателей P и P возможны два случая. В первом случае каждому значению признака d из показателя P соответствует одно и только одно значение этого признака из показателя P . Правила образования составного объединенного показателя C в этом случае очевидны. Во втором случае такое соответствие значений реквизита-признака d не выполняется. Если некоторому значению признака d из показателя P нет соответствующего значения этого же признака из показателя P , составной показатель C образуется следующим образом: значения реквизитов $a, б, в, г, д, х$ берутся из показателя P , вместо значений реквизитов $к, л, м, у$ используется символ «пусто». Если некоторому значению d из показателя P нет соответствующего значения из показателя P , то составной показатель C образуется аналогично предыдущему при условии, что роли показателей P и P изменяются.

Справедливо утверждение, что к любой составной единице информации можно применить декомпозицию. В результате получим некоторую взаимосвязанную совокупность показателей, адекватных исходной СЕИ.

Каждый показатель имеет множество значений, и получение любого из них осуществляется по алгоритму, свойственному данному показателю. Поэтому если расчленить информационную систему объекта

(организации) на отдельные показатели и описать для каждого из них алгоритм получения, то при соответствующем отображении взаимосвязи между показателями и соблюдении предопределенной последовательности их образования можно иметь в совокупности общий комплексный алгоритм получения информации всей системы.

По своему составу (только одно основание и сравнительно небольшое число характеризующих его признаков, как правило, не более 20) показатели сравнительно однотипны, что позволяет эффективно использовать их в качестве единиц информации при проектировании информационного и программного обеспечения систем обработки информации.

Показатель можно применять как обобщающую единицу измерения объема данных. В роли измерителей «предметов труда» и «продуктов» обработки данных показатели более эффективны, чем такие единицы измерения, как «документ», «документострока», «документопозиция», «графо-клетка», «слово», «знак» и др.

Применение в качестве единиц измерения графо-клетки, слова, знака, символа, байта и т. п. позволяет довольно точно определить физические объемы данных. **Но эти единицы измерения информации не обладают информативностью, поэтому на их базе нельзя получить ряда важных для характеристики информационной системы группировок.** Например, нельзя определить объем данных производной и постоянной информации. Поэтому целесообразно их использовать в сочетании с более укрупненными единицами информации, обладающими таким свойством.

Измерение объема данных только в составных единицах информации и их позициях (записях) или в документах и документостроках (документопозициях) может дать неточное представление об объеме информации, поскольку существенно варьируются размеры массивов СЕИ.

Кроме того, такие измерители не позволяют получить распределение объемов данных по ряду характерных для процессов обработки данных разновидностей информации, поскольку в составе СЕИ могут быть ее составляющие с различной характеристикой (например, исходные и производные, входящие и исходящие, постоянные и переменные и т. д.), что связано с разной ролью в преобразованиях входящих в них реквизитов числового типа. **Поскольку у показателя только один реквизит такого типа — основание, он не имеет этого недостатка и удобен для определения объемов информации в самых разнообразных разрезах, выполнения различных группировок в зависимости от используемой классификации.** В табл. 2 для примера приведен удельный вес выраженной в показателях информации технико-

экономического планирования ряда машиностроительных предприятий по разделам техпромфинплана и некоторым разновидностям показателей.

Таблица 2

Наименование участка планирования	Удельный вес, %						Показатель массовости расчетов*
	по числу форм показателей			по числу значений показателей			
	постоянных нормативно-расценочных	переменных	итого	постоянных нормативно-расценочных	переменных	итого	
Планирование производства	2,5	35,4	37,9	1,9	11,6	13,5	410
Планирование использования производственных мощностей	0,4	13,8	14,2	0,1	2,9	3,0	240
Планирование технического развития предприятия	1,1	4,0	5,1	0,1	0,0	0,1	15
Планирование труда и заработной платы	0,8	21,5	22,3	1,0	1,0	2,0	90
Планирование потребности предприятия в материалах	1,5	4,2	5,7	4,1	38,0	42,1	7900
Планирование себестоимости продукции	1,3	9,6	10,9	2,9	5,2	8,1	800
Составление финансового плана предприятия	1,0	2,9	3,9	18,2	13,0	31,2	8340
Итого	8,6	91,4	100,0	28,3	71,7	100,0	1120

* Среднее число значений на одну форму показателя.

Классификация показателей по функциям управления предприятий и организаций, по внутренним разделам этих функций, подсистемам, цехам, отделам и другим подразделениям, по задачам и т. п. вполне естественна, и измерение объема данных в этом случае более удобно и точно, чем в составных единицах информации, так как входящие в последние показатели могут возникать в различных подразделениях, на разных этапах, не в рамках одних подсистем и функций управления и т. д.

При классификации показателей выделяются следующие аспекты:

объект, состояние которого отображается показателем;

состояние объекта;

единица измерения основания;

стабильность значений показателя.

К наиболее общим группировкам по признаку «объект» отнесены

показатели, определяющие население, природные ресурсы, общественный продукт, структурные единицы (число предприятий, организаций, учреждений, территориальных образований и т. п.), информацию.

В этой группе особый интерес представляют показатели со значением основания, равным единице, в которых до процесса обработки наблюдается явление завуалированного основания. Такие показатели будем называть *булевскими*. Особенностью булевского показателя является альтернативность значения его основания, которое сводится к одному из двух значений: единице или нулю. **При первом значении показатель как бы подлежит регистрации в связи с наличием наблюдаемого объекта и присущих ему признаков. При втором, нулевом, значении как бы устанавливается отсутствие данных признаков, а следовательно, и всей единицы наблюдения.** Из этого вытекает принципиальная возможность образования показателя на базе любого характеризующего объект признака. **Основание такого показателя будет указывать на наличие или отсутствие данного признака (симптома), выражая это альтернативно в двоичной системе счисления или в виде булевской переменной.**

При внешней простоте булевские показатели дают возможность осуществлять обобщение, агрегацию, в результате которых создаются укрупненные показатели. Чем более обобщенным, агрегированным становится показатель, тем он менее конкретен, и, наоборот, чем больше показатель отражает условия, в которых он фиксировался, тем менее он обобщался в процессе обработки. Например, первичный показатель бланка переписи населения имеет значительно больше признаков, чем любой сводный показатель, получаемый при разработке данных переписи населения.

С видом показателя, регистрируемого в сфере первичного учета, тесно связаны вопросы углубления и упрощения учета. **Для получения наиболее полной информации целесообразнее производить съем показателей с наибольшим числом сопутствующих признаков, т. е. булевских.** Но регистрация булевских показателей ведет к существенному увеличению объема информационных работ. Поэтому практически целесообразнее съем показателей со значениями оснований более единицы (показателей счета). При укрупненной регистрации теряется часть признаков и, следовательно, ухудшаются возможности углубленного анализа, но зато существенно сокращаются затраты на первичный учет.

Каждая истина обладает достаточно большим числом признаков и с нее могут быть сняты самые разнообразные показатели. Однако регистрация всех признаков невозможна и бессмысленна. **Для практических целей**

регистрируются лишь **важнейшие признаки качественного и количественного характера**. Некоторые из них имеют особое значение, поскольку непосредственно участвуют в последующей обработке и выводе обобщающих показателей. Эти количественные признаки снабжаются другими сопутствующими признаками и вместе с ними образуют такие **информационные совокупности, которые являются минимальными, но вполне достаточными для поставленных целей анализа. Таков процесс превращения количественных признаков в основания, анализ которого позволяет отметить наиболее существенные отличия признаков от оснований даже в момент съема показателей.** По окончании же съема каждый из зарегистрированных показателей существует в самостоятельном виде.

По признаку «**состояние**» показатели подразделяют на статические и динамические.

К *статическим* отнесены показатели, характеризующие отображаемый объект (их группу) или его свойства на определенный момент времени (например, природные ресурсы, основные производственные фонды предприятий определенной отрасли, площадь некоторого цеха, численность работающих, цена продукции, тариф за услуги, себестоимость единицы продукции).

Показателями *динамики* (движения) характеризуются процессы деятельности или изменения состояния отображаемого объекта (их группы) в течение определенного периода, например: движения населения, включая естественное (рождаемость, смертность) и механическое (въезд, выезд) за полугодие; движения трудовых ресурсов, повышения квалификации, образования, трудового процесса, баланса рабочего времени за месяц; изменения природных ресурсов, геологоразведочных работ, охраны окружающей среды за пятилетие; движения общественного продукта (производства, обращения, распределения и перераспределения, использования) за год.

В литературе одной из наиболее распространенных является классификация показателей по характеру единиц измерения основания. Как правило, выделяются абсолютные и относительные показатели.

Абсолютными называются показатели, основания которых получаются прямым счетом, измерением и взвешиванием, алгебраическим суммированием других абсолютных показателей, а также различные средние абсолютные показатели.

В число *относительных* входят показатели, значения оснований которых получены отношением оснований двух других показателей (показатели структуры, характеризующие удельный вес части в целом; координации как отношения двух частей, из которых одна выбрана базой; интенсивности как соотношения показателей, отображающих разные, но

взаимосвязанные объекты и процессы, например фондоотдачи, материалоемкости, производительности труда и т. п.), относительные средние показатели и др.

В практике машинной обработки данных по стабильности значений различают показатели переменные и постоянные.

Под *постоянными* понимаются показатели, номенклатура которых (по объему) в пределах данной формы, а также значение отдельных показателей номенклатуры остаются относительно стабильными сравнительно длительный период времени.

Количественным параметром, характеризующим постоянство показателей, служит коэффициент стабильности S . Определим этот коэффициент для любого показателя следующим образом:

$$S_{\Delta t} = \frac{V}{V_1},$$

где Δt — некоторый заданный интервал времени (t_1, t_2), причем $\Delta t = t_2 - t_1$;

V — общее число значений показателя на начало рассматриваемого интервала времени t_1 ;

V_1 — число значений показателя, оставшихся неизменными на всем временном интервале (t_1, t_2).

В экономике к постоянным целесообразно относить такие показатели, у которых $S_{\Delta t} \geq 0,8$ при Δt , равном одному году.

Остальные показатели относятся к *переменным*, например, показатель выработки, поскольку количество его значений меняется ежемесячно довольно резко.

В группе постоянных показателей выделяют *нормативно-расценочные*, к которым относятся нормы (нормативы), расценки, цены, постоянные коэффициенты и процентные ставки. Иногда выделяют также показатели *состава*, например вхождения деталей в узлы, другие соединения и изделия, применяемости материалов и др.

Для обеспечения единства понятий, наименований, структуры и кодов технико-экономических и социальных показателей, применяемых в статистических и других документах, а также для обеспечения возможности эффективной организации обработки, хранения и поиска данных с применением современной вычислительной техники **разработан классификатор технико-экономических и социальных показателей (КТЭСП)**.

В КТЭСП осуществлена систематизация показателей по основным областям измерений в экономике; выделены типы показателей и признаки, по которым могут осуществляться группировка, свodka и анализ взаимосвязей показателей при решении задач статистики; даны

средства терминологической нормализации наименований показателей и система классификационного кодирования типов показателей и классификационных группировок.

В КТЭСП принята следующая структуризация показателя: формальная и содержательная характеристика (объект), основные классификационные признаки для данного типа показателей, дополнительные признаки показателя, единица измерения.

По формальной характеристике различаются:

- основные формы показателя (в качестве которых приняты, как правило, абсолютные показатели, а также относительные показатели интенсивности и некоторые средние показатели);
- производные показатели (абсолютные разностные и итоговые показатели, относительные показатели динамики, структуры, а также средние по временным интервалам и средние по однородным объектам).

По содержательной (социально-экономической) характеристике показатели разделяются на следующие типы: численность наличного населения, численность постоянного населения, численность работников, численность рабочих, основные фонды, ввод в действие основных фондов, капитальные вложения, нормативная чистая продукция и т. п.

Для каждого типа показателей в КТЭСП даны наборы основных классификационных признаков, конкретизирующих социально-экономическую характеристику показателей. Например, для показателей типа «основные фонды» выделяются признаки «виды основных фондов», «виды оценки основных фондов», «возрастные группы» и др.; для показателей типа «численность рабочих» — признаки «пол», «возраст», «образование», «профессия», «тарифные разряды» и т. д.

К дополнительным признакам показателей отнесены время, функция управления, хозяйственный объект. Признаку «время» соответствует, например, список, включающий такие позиции, как «за отчетный период», «на начало планового периода», «за 2010 г.», «на 1 января 2010 г.» и т. д. Признаку «функция управления» соответствует список, содержащий позиции «план», «фактически», «ожидаемое выполнение», «норматив» и т. п. Признаку «хозяйственный объект» соответствует ряд классификаторов, характеризующих территориальные и организационно-хозяйственные единицы и их совокупности. Среди них классификатор отраслей (КО), классификатор предприятий и организаций (КПО), система обозначений объектов административно-территориального деления и населенных пунктов (СОАТО) и др.

КТЭСП включает следующие компоненты:

- рубрикатор (общую классификационную схему показателей);
- систематический перечень типов и классификационных группировок показателей (перечень вариантов структуры показателей, упорядоченный

в соответствии с рубрикаторм);

- перечень списков, классификаций и номенклатур, входящих в уже разработанные республиканские, межведомственные и ведомственные классификаторы, а также списки, специально разработанные в рамках КТЭСЦ.

Рубрикаторм КТЭСЦ включает укрупненную классификационную схему, содержащую 13 рубрик, и развернутую классификационную схему, включающую дополнительно около 200 подрубрик. Рубрикаторм имеет нестрогую иерархию, т. е. допускается включение отдельных подрубрик более чем в одну рубрику, что позволяет полнее отобразить взаимосвязи показателей и возможности их использования в разных областях статистической работы. В рубрикаторме нашли отражение также наиболее важные деления в унифицированных системах статистической документации и в структурах статистических органов.

Систематический перечень типов и классификационных группировок показателей включает более 4 тыс. позиций, распределенных по подрубрикам нижнего уровня.

Нормализованное наименование показателя получается путем перечисления наименований признаков, взятых из систематического перечня, например «Численность наличного населения, мужчин, в возрасте 18 лет и старше». Классификационный код показателя записывается путем указания кодов наименований признаков и кодов значений каждого признака. Рассмотренному выше показателю соответствует классификационный код 1001.2521—1.3000—104, в котором 1001 — код наименования «Численность наличного населения», 2521 — код наименования «Пол», 1 — код значения «Пол = мужской», 3000 — код наименования «Возраст», 104 — код значения «Возраст» ≥ 18 .

Внедрение наименований и кодов показателей, регламентированных в КТЭСЦ, позволяет систематизировать и унифицировать обработку информации.

6. Связь (взаимодействие) необходимого и случайного с информацией

6.1. От случайного к необходимому - диалектика развития мира

6.1.1. Становление вероятностных представлений

На всех этапах развития естественнонаучной и философской мысли вопрос о роли случайностей был источником разногласий между теми, кто стремился познать диалектическое развитие мира, и теми, кто такое развитие отвергал.

Сущность метафизического детерминизма, отрицающего объективную роль случайностей в происходящих в мире явлениях, наиболее четко выразил известный французский математик конца XVIII и начала XIX столетия П. С. Лаплас. До сих пор не забыта его знаменитая фраза о гипотетическом всеобъемлющем уме, который, вместив в себя все параметры, характеризующие мгновенное состояние всех частей Природы и всех одушевляющих Природу сил, смог бы выразить в математической формуле все прошлые состояния мира и предсказать по той же формуле любые события на все грядущие времена. Это высказывание Лапласа сфокусировало в себе те «фатальные» представления о мире и его познании, которые породил в XIX веке механистический детерминизм.

Последующее развитие науки опровергло этот фатальный взгляд. Стало ясно, что мир Лапласа, в котором все последующие события предначертаны формулой (пусть даже и неизвестной) — это метафизический мир. **От диалектического мира он отличается тем, что в нем не может возникнуть ничего нового. Он движется, подчиняясь программе (формуле) не от простых форм к более сложным по исследуемой диалектикой восходящей спирали, а по замкнутому кругу, как заведенный единожды и навеки часовой механизм.**

Диалектический мир не подчиняется этой программе. В нем происходит много явлений, которые нельзя предсказать даже с помощью фантастического числа уравнений и гипотетического всеобъемлющего ума. Ибо в диалектическом мире существенную

роль играет случайность.

Благодаря *случайной изменчивости* возникают новые формы живых организмов, и те, которые приспособлены к среде лучше, выживают в процессе отбора и передают поколениям **новые признаки, которые в результате случайных мутаций приобрел сохраняемый в генах наследственный код**. Благодаря *случайным ассоциациям* рождаются новые идеи, теории, взгляды. Для моделирования творческого (эвристического) мышления приходится вводить *генератор случайных данных* в детерминированную программу электронных машин. Метод этот назван «методом Монте-Карло»: заимствуя опыт игорных домов Монте-Карло, машина вдруг начинает «играть в рулетку» и с помощью случайных «очков» (стохастического сигнала) этой «рулетки» (генератора шума) находит какое-то решение даже в тех случаях, когда ей не хватает исходных данных и обычные действия в соответствии с жестко детерминированной программой не дают результата. Подчеркивая эту особенность процессов эвристического мышления, В. В. Налимов заключает: «...создавая искусственный интеллект, нужно будет ввести туда генератор случая и систему отбора, иначе мы будем иметь дело с уже совсем скучным интеллектом, построенным по принципу ветвящегося логического дерева, с четко прогнозируемым поведением».

Уже на основании этого далеко не полного перечня можно прийти к заключению, что **в диалектическом мире случайность играет принципиальную роль**.

Двадцать три века назад в несколько иной форме полемика о случайных и необходимых явлениях велась древнегреческими мыслителями. В работах античных философов уже четко **наметились два подхода к оценке роли случайностей: метафизический, при котором случайность считается категорией субъективной, обусловленной неполнотой человеческих знаний; и диалектический, признающий объективную роль случайных явлений в развитии мира**.

Статистическая мера количества информации и связь информации с энтропией заставляют по-новому осмыслить взаимоотношения между случайными и детерминированными явлениями и еще раз вернуться к трудам древнегреческих философов, в которых **«уже имеются в зародыше, в процессе возникновения, почти все позднейшие типы мировоззрений»**.

Трактовка категории случайности как субъективного фактора, являющегося результатом ограниченности наших знаний, **принадлежит школе древнегреческих атомистов**. Такой точки зрения придерживался, в частности, Демокрит. Некоторым приближением к диалектическому пониманию соотношения порядка («гармонии»),

«прекраснейшего космоса») и беспорядка («мирового хаоса») является мировоззрение Гераклита, рассматривавшего развитие мира как борьбу («войну») «сходящихся» и «расходящихся» сил. Он утверждал, что, несмотря на участие «расходящихся сил», мир все же приходит к гармонии, а не ко всеобщему беспорядку («мировому хаосу»), при котором «прекраснейший космос был бы подобен беспорядочно рассыпанному сору». Этим высказыванием Гераклит отвергает абсолютизацию роли случайностей в развитии мира. Впоследствии отвергнутая Гераклитом идея превращения «прекраснейшего космоса» в подобный «беспорядочно рассыпанному сору» «мировой хаос» возродилась в теории тепловой смерти Вселенной, опиравшейся на установленный термодинамикой закон возрастания энтропии.

Дальнейшим развитием диалектического анализа проблемы соотношения необходимости и случайности являются взгляды Аристотеля, считавшего обе указанные категории объективными определениями бытия. Заслуга Аристотеля заключается в том, что он сумел преодолеть присущую многим ученым (включая и некоторых современных) тенденцию к метафизическому противопоставлению необходимости и случайности. Он считал, что, хотя эти категории и противоположны друг другу, необходимость не исключает случайности и наоборот. Согласно определению Аристотеля, к категории «случайность» относится то, что «происходит не ради какой-нибудь определенной цели, и не всегда, и не по большей части, и не в установленном порядке».

Глубокое замечание Аристотеля об отсутствии «установленного порядка» в случайных явлениях трансформировалось в современное представление о том, что характерным и обязательным признаком стохастических процессов является отсутствие алгоритма, по которому можно было бы предсказывать последовательность дальнейших событий.

Еще более поразительное совпадение с современными представлениями о диалектической взаимосвязи необходимого и случайного в материальном мире мы обнаруживаем в учении Эпикура. В противовес детерминистическому фатализму Демокрита, вытекающему из представлений атомистов о том, что основой всех мировых событий являются механические перемещения мельчайших неделимых частиц (атомов), Эпикур выдвигает гипотезу, предвосхитившую изучаемый современной квантовой физикой статистический характер поведения элементарных частиц. Согласно этой гипотезе, помимо обусловленного силой тяжести «принудительного» движения атомов происходят спонтанные отклонения атомов от траектории падения. Эпикур утверждал, что отклонения эти имеют чисто случайный характер,

что происходят они «ни в определенном месте, ни в определенном времени». Вот в этих-то отклонениях, по мнению Эпикура, и кроется присущая атомам «свобода воли», нарушающая фатальную неизбежность явлений, которую отстаивал со времен Демокрита метафизический детерминизм.

Чтобы утвердить объективное существование первоисточника самодвижения материи, приводящего к непрерывному диалектическому развитию мира, Эпикуру пришлось механическому движению, обусловленному силой тяжести атомов, добавить гипотетические спонтанные отклонения, ибо «*движение падения есть движение несамостоятельности*». И хотя с точки зрения современных квантовых представлений гипотеза Эпикура выглядит очень наивно, нельзя не признать ее философскую глубину. Ведь с ее помощью Эпикур утверждал наличие первопричины диалектического развития мира, которое пытался отвергнуть метафизический детерминизм. «В этом предположении следует особенно восхищаться тем, что оно является попыткой найти **внутренний источник движения материи**»,—отмечает Жорж Коньо.

Высказанную Эпикуром идею развил в своем известном произведении «О природе вещей» Лукреций Кар:

Если ж движения все непрерывную цепь образуют
И возникают одно из другого в известном порядке,
И коль не могут путем отклонения первоначала
Вызвать движений иных, разрушающих рока законы,
Чтобы причина не шла за причину испоконь века,
Как у созданий живых на земле не подвластная року,
Как и откуда, скажи, появилась свободная воля,
Что позволяет идти, куда каждого манит желанье,
И допускает менять направленья не в месте известном
И не в положенный срок, а согласно ума побуждению?
Ибо сомнения нет, что во всем этом каждому воля
Служит начальным толчком и по членам движенья
проводит.

С. И. Вавилов также подчеркивал с позиций науки XX в. важность и глубину выдвинутых Эпикуром диалектических идей: «Нельзя умолчать о поразительном совпадении принципиального содержания идеи Эпикура — Лукреция о спонтанном отклонении с так называемым «соотношением неопределенности» современной физики... Было бы недопустимым преувеличением и грубой ошибкой считать Эпикура и Лукреция предшественниками квантовой механики, однако некоторое совпадение античной идеи с современной не является совершенно случайным. Квантование атомных состояний и энергии, несомненно, глубокими

корнями связано с прерывным характером самих элементарных частиц и с диалектическими противоречиями, кроющимися в самом понятии атома».

Несмотря на «совпадение принципиального содержания идей Эпикура» с современной трактовкой соотношения случайных и детерминированных связей в явлениях окружающего мира, от Эпикура к современным научным представлениям вел отнюдь не прямой путь. Наука преодолела этот путь по спирали, причем на одном из ее участков идеи Эпикура были преданы забвению, а господствующим стал сходный с воззрениями Демокрита лапласовский фатализм. А до этого науке пришлось пережить еще и тяжесть давления теологических догматов средневековья.

Спор о соотношении случайности и детерминированности явлений приобрел в эту эпоху форму диспутов о том, предопределены ли все поступки людей предначертаниями Бога или Бог милостиво предоставляет людям некоторую «свободу воли». При этом интересно отметить, что даже в предельно «формализованном» церковными канонами религиозном мировоззрении фаталистичные детерминистские взгляды вступали в противоречие с логикой теологических концепций: за что, например, Бог наказывает грешника, если он лишен свободы воли и все его поступки, и праведные, и грешные, были заранее предопределены?

Но вот пришло Возрождение. Были открыты фундаментальные законы механики, на основе которых возродились идеи Демокрита и утвердился механистический лапласовский детерминизм. Так завершился очередной виток диалектической спирали, ибо фаталистические концепции Демокрита и Лапласа — это две «точки» восходящей спирали, расположенные на одной «вертикальной прямой».

Еще Эпикур, отвергая фатальность судьбы, вытекающую из атомистического учения Демокрита, сказал: «Лучше было бы следовать мифу о богах, чем быть рабом судьбы физиков-естествоиспытателей; миф дает намек на надежду умиловления богов посредством почитания их, а судьба заключает в себе неумолимую необходимость». Пришедшая на смену теологическим теориям мира метафизическая концепция Лапласа тормозила развитие диалектической мысли, как в свое время религиозные догматы тормозили развитие естественнонаучных идей. Ряд ученых не только опровергали метафизический детерминизм Лапласа, но и глубоко проанализировали причины, породившие лапласовский фатализм. Одна из главных причин заключалась в том, что после длительного засилия средневековой схоластики освобожденная Возрождением научная мысль устремилась к познанию объективного мира. Для того чтобы понять свойства сложных явлений, пришлось учиться эти явления

анализировать, упрощать, расчленять. Господствующей тенденцией научной методологии стало не исследование взаимосвязей явлений, а расчленение сложных явлений на составные части и дифференцированное изучение этих частей.

Абстрагируясь от вытекающих из этой методологии несостоятельных философских выводов, следует признать, что сама по себе данная методология на рассматриваемом историческом этапе была прогрессивной и принесла немало плодов. Так, например, путем умозрительного расчленения неразрывно связанных силы тяги и силы трения Галилей установил фундаментальный закон механики, который современникам Галилея, очевидно, казался не менее парадоксальным, чем теория относительности современникам Эйнштейна. Парадокс заключался в том, что сила лошади, запряженной в телегу, тратится вовсе не на то, чтобы придать телеге необходимую скорость, как думали до открытия Галилея.

Подчеркивая необходимость расчленения явлений как методологического приема, ряд ученых отмечало: «Разложение природы на ее отдельные части, разделение различных процессов и предметов природы на определенные классы, исследование внутреннего строения органических тел по их многообразным анатомическим формам — все это было основным условием тех исполинских успехов, которые были достигнуты в области познания природы за последние шестьсот лет». Вместе с тем эта же категория ученых категорически отвергала взгляд на этот прием как на отражение объективных свойств природы, — взгляд, служивший основой метафизической трактовки окружающего мира. **Метафизика абсолютизировала методологию расчленения сложных явлений и в результате упустила из виду их объективно существующие взаимосвязи. Именно отмечалось, что если метафизика права по отношению к грекам (т. е. диалектике древних) в подробностях, то греки правы по отношению к метафизике в целом.**

Последующие исследования в области статистической физики, теории информации, биологии показали, что только наличием статистических свойств явлений можно объяснить необратимость процессов, деградацию или развитие сложных систем. Но вплоть до середины XIX века наука не искала объяснения этих явлений — она, если можно так выразиться, закрывала на них глаза. Считалось, что открытые Кеплером и Ньютоном законы небесной механики свидетельствуют о том, что все светила и планеты Вселенной вечно и неизменно обращаются по одним и тем же орбитам и нет никакой необратимости: чтобы заставить Вселенную вращаться «наоборот», достаточно во всех уравнениях перед знаком времени заменить друг на друга плюсы и

минусы.

Считалось также, что, хотя организмы рождаются и умирают, живая природа в целом подчиняется одним и тем же законам, из года в год с методичностью часового механизма возобновляя свой цикл. Следуя той же тенденции расчленять природу на части, Карл Линней разложил все виды живого по полочкам, предоставив каждому виду место, закрепленное за ним на веки веков. Для развития естествознания классификация, предложенная Линнеем, явилась гигантским шагом вперед. Но базирующиеся на этой теории философские выводы явились тормозом в развитии диалектического мышления, поскольку они утверждали неизменность животного и растительного мира.

Но вот на смену теориям, в основе которых лежит незыблемость и неизменность, приходят теории, объясняющие, как развивается мир. **За неизменным движением светил и их спутников Кант усматривает возможность рождения новых космических образований и новых миров.** Единство клеточной структуры растительных и животных организмов, показанное в ботанике М. Шлейденом, а в зоологии Т. Шванном, свидетельствовало о том, что полочки, предложенные Карлом Линнеем для разграничения видов, не так уж прочны. **Петух, собака и клен суть не представители несовместимых форм живого, а дальние родственники, поскольку общим их прародителем является одноклеточный организм.** Неизменность циклов живой природы не помешала Дарвину выявить тенденцию к эволюционному совершенствованию видов, расширив для этого рамки научных представлений за пределы жизненного опыта не только одного человека, но и всех поколений людей.

В начале XIX века мир представлялся устойчивым и неизменным, состоящим из вовеки незыблемых застывших форм. К концу века он во всех своих сферах представился цепью нескончаемых перемен. И вновь, как двадцать два века назад, для объяснения причин диалектического развития мира науке пришлось согласиться с тем, что в этом развитии случайность играет принципиальную роль. Правда, в отличие от времен Древней Греции наука XIX в. могла опереться на достаточно разработанный к этому времени вероятностный аппарат.

Годом рождения теории вероятностей считается 1654 год. До этого времени попытки вероятностных исчислений предпринимались Галилеем, который использовал вероятность в расчетах случайных ошибок измерений физических величин. Однако теория вероятностей как таковая начала развиваться лишь с того времени, когда удалось сформулировать и доказать несколько вероятностных теорем.

В 1654 г. кавалер де Мере предложил знаменитому Б. Паскалю найти математический метод решения одной задачи из области азартных игр.

Ферма обобщил решение Паскаля, распространив его на более сложные ситуации в форме первых теоретико-вероятностных теорем.

Не следует удивляться тому, что рождению такой важной теории, как теория вероятностей, способствовал столь, казалось бы, незначительный повод, как анализ азартных игр. И по сей день азартные игры очень часто используются математикой в качестве удобных и наглядных моделей случайных процессов. Достаточно вспомнить часто встречающиеся в специальной литературе примеры, связанные с выпадением очков игральной кости, или столь важный в кибернетике метод Монте-Карло. В этой связи интересно отметить, что само слово «азарт», употребляемое теперь для выражения субъективно-психологического состояния, произошло от французского «hasard», что означает «случай».

При разработке теории эволюции Ч. Дарвин не привлекал на помощь теорию вероятностей как таковую, и все же созданная им теория насквозь пропитана духом вероятностных идей. От Дарвина и нельзя было бы требовать большего: вопрос о построении адекватных математических моделей биологической эволюции является настолько сложным, что и в настоящее время она находится лишь в начальной стадии разработки, несмотря на помощь, которую здесь оказывает аппарат теории случайных процессов и моделирование с помощью ЭВМ. Не располагая подобными средствами, Дарвин, естественно, мог лишь умозрительно представить себе механизм эволюции, в фундамент которого заложены вероятностные процессы (случайная изменчивость видов).

В этой связи нельзя не выразить восхищения по поводу другого, еще менее вооруженного фактическими знаниями, но не менее прозорливого ума. Речь идет о древнегреческом мыслителе Эмпедокле, который за двадцать три века до Дарвина тоже построил своеобразную теорию эволюции. По теории Эмпедокла эволюция осуществляется так: на одной из стадий развития мира («Сферусе») Земля породила готовые органы: ноги, сердце, глаза и т. п. Затем эти органы стали соединяться, образуя случайные комбинации, а две противоборствующие силы — Любовь и Вражда — осуществляли отбор. Все неудачные комбинации уничтожала Вражда, все удачные, гармоничные бережно охраняла Любовь. Как ни наивны подобные представления, нельзя не признать, что прообраз метода проб и ошибок здесь налицо!

Переход от общих вероятностных идей к конкретным статистическим исследованиям естественно протекающих эволюционных процессов стал возможен после создания энтропийной теории в физике и генетической теории в биологии. Обе эти теории родились в конце XIX века. В основу обеих теорий (в генетике — начиная с экспериментальных методов Г. Менделя, в физике — начиная с теоретических исследований Л. Больцмана) были положены

статистические идеи. Долгое время эти теории развивались параллельно и никаких точек соприкосновения не имели. **Лишь в наши дни генетика, биохимия и теория информации смогли совместными усилиями перекинуть мост от статистической меры хаоса, каковой является энтропия, к статистической мере порядка, который в форме закодированных цепочек молекул ДНК хранит в себе ген.**

Созданная Л. Больцманом статистическая теория энтропии базировалась на разработанной Дж. Максвеллом кинетической теории газов, в основу которой был положен статистический анализ движения молекул. И теория Максвелла, и теория Больцмана на начальном этапе подвергались критике со стороны многих ученых, считавших их «излишними гипотезами», уводящими физиков в сторону от исследовательских задач, которые решаются на макроскопическом уровне. Об этом свидетельствуют высказывания (которые можно найти в научных статьях в журналах того времени), призывавшие к познанию «доступных явлений», а не всегда скрытой от исследователя «сущности вещей».

Однако, несмотря на критику, **статистическая теория продолжала жить, причем каждый этап в ее развитии вновь подтверждал, что статистический анализ микропроцессов является главным путем познания «скрытой сущности вещей».** Так, например, до статистической теории Больцмана все попытки интерпретаций физической сущности энтропии терпели полный провал. Как известно, Р. Клаузиус ввел в уравнения термодинамики функцию энтропии чисто *феноменологическим* путем, т. е. без раскрытия ее физической природы и физических свойств. **Эта функция позволила установить связи между известными термодинамическими параметрами (свободной энергией, термодинамическим потенциалом, энтальпией, температурой, объемом), однако — в отличие от упомянутых параметров, имевших четкую физическую трактовку, — никакого наглядного физического толкования энтропии феноменологическая термодинамика предложить не могла.** Правда, предпринимались попытки истолковать энтропию путем аналогии между работой тепловой машины и падающей воды; при этом разность температур сопоставлялась с разностью уровней наполненных водой резервуаров, аналогом количества тепла, передаваемого от источника к холодильнику, служила масса воды, а с функцией энтропии соотносились объем или вес воды. Однако более детальные исследования процессов превращения теплоты в полезную работу привели к выводу об искусственности и приближенности указанной аналогии.

Новый всплеск горячих дискуссий по поводу сущности статистических закономерностей и правомерности их привлечения для описания

объективных явлений был обусловлен рождением квантовой физики и принесенных ею в науку новых идей. Выражением крайних позиций в этой дискуссии был известный спор между Н. Бором и А. Эйнштейном (Эйнштейн утверждал, что принимать статистические трактовки в качестве объективных закономерностей равносильно признанию того факта, что все происходящее в мире определяется случайными решениями бога, принятыми в зависимости от того, сколько очков покажет подбрасываемая игральная кость).

Дискуссии о роли и методологии применения статистических методов продолжают и в настоящее время, охватывая все более широкий круг человеческих знаний, поскольку современный этап развития науки знаменуется распространением разработанных математикой и апробированных физикой статистических методов на область кибернетических систем. Таким образом, поднятые мыслителями древности вопросы о первопричинах случайных явлений, о роли случайностей в объективных процессах, о соотношении детерминации и случайности в развитии материальных систем не решены до конца до сих пор.

6.1.2. Вероятностные зависимости как отражение объективных свойств материальных истин

Современная наука располагает огромным запасом данных, подтверждающих, что вероятностные взаимосвязи явлений — это одно из объективных свойств материального мира, без которого он и в самом деле превратился бы в запрограммированный, не порождающий ничего нового лапласовский мир. Привлекая на помощь теорию информации, можно использовать в качестве аргумента такой наглядный пример.

Представим себе текст, в котором полностью исключена неопределенность появления букв. В этом случае можно по части этого текста установить алгоритм, которому он подчиняется, и выписывать буквы последующих сообщений, т. е. полностью предсказывать текст. Эта ситуация может служить наглядной моделью детерминированного лапласовского мира, который не порождает ничего нового. В реальном же мире мы сталкиваемся со множеством объективно случайных, а потому и непредсказуемых однозначно явлений, для описания которых приходится использовать включающий в себя «объективные случайности» (а потому и не подчиняющийся никаким алгоритмам) язык.

Первоисточником объективной стохастичности, заключенной в самом фундаменте материи, является изучаемый **квантовой физикой мир элементарных частиц.**

Подтверждением объективной стохастичности квантовомеханических

процессов может служить принцип неопределенности, установленный В. Гейзенбергом. Этот принцип подтвержден экспериментами, показывающими вероятностный характер поведения электронов в явлениях дифракции, и многими другими экспериментальными данными.

С объективной стохастичностью явлений науке пришлось столкнуться и при исследовании генетических мутаций. Подчеркивая эту особенность генов, Дж. Хаксли писал: «Генам присуще существенное свойство жизни — копировать самих себя. Но копирование не всегда бывает точным, иногда происходит неточное самокопирование, в результате чего получаются мутации. Последние сохраняют способность самокопирования и дальнейшего мутирования. Мутации случайны или, лучше сказать, ненаправленны в том смысле, что они происходят во многих направлениях и не связаны приспособительно ни со средой, ни с общим направлением эволюции данной группы, ни с вызвавшим их агентом. Действительно, некоторые из них, по-видимому, совершенно случайны, будучи обусловлены спонтанными перестройками субатомных структур». **Случайный характер возникающих в генах мутации является первопричиной стохастического взаимодействия организмов, популяций и видов с внешней средой.**

С точки зрения кибернетики отдельный живой организм или целый биологический вид есть не что иное, как сложная самоорганизующаяся система, взаимодействующая с переменными факторами внешней среды. Соответствующие заданным внешним условиям оптимальные признаки вида возникают не за счет детерминированных изменений системы, полностью адекватных внешним условиям, а благодаря статистическому механизму мутаций, аналогичному генератору случайных данных действующих по методу Монте-Карло электронных машин. В результате отбраковки множества вариантов и отбора наиболее удачных случайно возникающих признаков постепенно достигается соответствие между биологическими системами и внешней средой. Важным аспектом исследований объективной необходимости случайных связей для обеспечения жизнеспособности организмов является кибернетическая по своей сути проблема **надежности биологических систем**. Суть дела заключается в том, что при случайном характере внутрисистемных связей элементы системы в той или иной степени независимы, автономны, поэтому выход из строя одного или нескольких элементов не является обязательным условием для разрушения всей системы. В этом заключается принципиальное отличие вероятностных систем от систем жестко детерминированных, в которых каждый из элементов, по меткому выражению У. Р. Эшби, обладает «правом вето»

по отношению ко всем остальным.

Ту же особенность вероятностных систем подчеркивал и К. Шеннон, рассматривающий в качестве наиболее надежной системы мозг. «Мозг человека или животного может служить примером очень большой и относительно надежной системы, построенной из индивидуальных компонентов (нейронов), которые надежны не только в выполнении операций, но и в тонких деталях взаимосвязи. Более того, хорошо известно, что при повреждении, несчастном случае, болезни и т. д. мозг продолжает функционировать замечательно правильно, даже если поражены его большие области. Эти факты представляют сильный контраст по сравнению с поведением и организацией вычислительных машин. Индивидуальные элементы этих машин должны быть выполнены с чрезвычайной надежностью, каждый провод должен быть соединен нужным образом, и каждая команда в программе должна быть правильной».

Теоретическому анализу преимуществ вероятностных связей с точки зрения надежности систем посвящена важная пионерская работа Дж. фон Неймана. Отмечая характерную для современной науки и техники тенденцию к использованию вероятностных связей, Ю. В. Сачков делает следующий прогноз в отношении создания высоконадежных технических систем: **«Это направление ясно выражает отказ от принципа жесткой однозначной детерминации элементов в разработке кибернетических систем. Связь между элементами строится на принципе функциональной заменяемости, функциональной избыточности: предполагается, что при выходе из строя тех или иных элементов системы выполнение их функций будет возложено на другие элементы. В идеальной перспективе биологические принципы построения кибернетических устройств ведут к принципу самораспределения функций элементов системы. Системы сами будут узнавать о возможном отказе отдельных элементов и соответственно перестраивать свою внутреннюю организацию работы, свои внутренние связи и взаимодействия... Принципиальное отсутствие однозначной детерминации элементов в подобных системах может обеспечивать непрерывность их нормального функционирования далеко за пределами той области, где действуют ныне жестко детерминированные кибернетические устройства».**

Другими словами, **путь обеспечения высокой надежности — это отказ от жесткой детерминации и введение вероятностных связей в структуру проектируемых систем.**

Признание того факта, что в основу многих объективных явлений заложены случайные, вероятностные связи, далеко еще не исчерпывает всех связанных с категорией случайности научных проблем. Вслед за

признанием объективной роли случайностей **возникают проблемы методологического и философского плана** — такие, как **вопрос о предсказуемости случайных процессов, об их «удельном весе» в общей картине материального мира, а также, если можно так выразиться, об их «первоисточниках», «первоосновах».** В этом плане еще не выработано общепризнанных взглядов, и это дает почву для различных трактовок, противоречащих не только друг другу, но зачастую даже самим себе.

А. Тьюрингу принадлежат слова: «Система Вселенной, как единое целое, такова, что смещение одного электрона на одну миллиардную долю сантиметра в некоторый момент времени может явиться причиной того, что через год человек будет убит обвалом в горах». Высказывание Тьюринга может быть истолковано двояко. Можно считать, что гибель человека в горах была предрешена смещением электрона. А можно исходить из того, что в цепи событий, происходивших в течение года от момента смещения электрона до обвала в горах, имело место множество случайных явлений, которые в данном случае послужили причиной обвала, зато в другом случае могли подарить горным путникам новый источник минеральной воды. Первое толкование возвращает нас к фатализму Лапласа. На самом же деле **точности предсказаний помимо недостатка исходных данных препятствует объективная стохастичность явлений, для описания которых наука и разработала аппарат теории вероятностей и теории случайных процессов, выработала сложные понятия и их статистические количественные меры, назвав их «корреляцией», «информацией» и «энтропией».**

С помощью статистических методов можно предречь ход самых разнообразных процессов. На основании полученных ранее статистических данных можно сделать, например, прогноз того, что в течение ближайшей недели на автомобильных дорогах Франции погибнет около двадцати человек. Таков «статистический фатализм», однако он отличается от фатализма Лапласа тем, что ни при каком количестве исходных данных не позволяет предречь, *кто же именно* в течение ближайшей недели войдет в состав обреченных статистикой двадцати человек.

Сказанное раскрывает реальное ограничение предсказуемости явлений и применимости статистических методов. Эти методы, например, не пригодны для исторической науки в том смысле, что для исследуемых ею явлений вовсе не безразлично, кто именно был в числе двадцати пострадавших и какие последствия принесла его смерть. Историю интересуют отдельные факты, привязанные к конкретному и ограниченному отрезку времени, а не статистические данные, усредненные за миллиарды лет существования Вселенной по тысячам

населенных разумными жителями планет. Вместе с тем статистические методы успешно применяются современной социологией для выявления и анализа некоторых общих тенденций, характерных для тех или иных социальных групп.

Несмотря на то, что объективная необходимость вероятностных связей подтверждается всем ходом развития современной науки, и до настоящего времени в науке удерживаются взгляды, отвергающие объективный характер вероятностных связей. **Некоторые считают, что вероятностные описания явлений возникают лишь потому, что в силу неполноты наших знаний мы не можем точно их описать.** С этих позиций, например, анализирует некоторые высказывания Г. Паска американский ученый Г. Цопф.

Стремясь подчеркнуть основное различие между жестко детерминированными и стохастическими связями в сложной системе, Гордон Паск говорит, что в первом случае элементы системы ведут себя так, «как если бы они не могли иначе», а во втором случае — «как если бы они сами решали», как им себя повести.

Г. Цопф, пытаясь внести уточнения в эти формулировки, привносит в них элемент субъективизма и тем самым вконец запутывает вопрос. «Я уверен,— говорит Цопф,— что Паск не утверждает, что элементы должны обладать волей, хотеть и выбирать, и что они действительно таковы... Он говорит, как мне кажется, о том, что имеются некоторые невероятно сложные системы, о которых мы можем получить практически полезные знания и успешно взаимодействовать с ними, если *допустим*, что они обладают своевольной внутренней направленностью. Паск предполагает, что такой относительный подход, несмотря на то, что он не дает нам всего богатства данных и такой определенности состояния систем, которые мог бы дать нам аналитический подход, оправдан, если он дает то, что нам нужно, а не то, что мы, по нашему мнению, должны иметь».

С рассуждениями Г. Цопфа относительно условности выражения «своевольная направленность элементов системы» можно согласиться с тем уточнением, что и сам Гордон Паск вводит это понятие очень корректно («как если бы они сами решали»), т. е. не в качестве утверждения, а лишь для образной характеристики стохастических свойств. Речь тут идет, разумеется, не о «воле», а об объективной стохастичности связей элементов подобных систем. Но Цопф пытается представить суть дела так, будто все зависит только от «допущения» наблюдателя, т. е. не от объективных свойств исследуемой системы, а от того, с какой меркой наблюдатель к ней подошел.

Если же данный вопрос рассматривать с иных позиций, то можно признать, что вероятностная трактовка может быть избрана не ради

удобства, а потому, что для описания объективных свойств исследуемой системы строго детерминированный («аналитический») подход просто неприменим. Тот, кто не допускает такой точки зрения, обречен выбирать между субъективным и объективным идеализмом.

Иногда обсуждают вопрос о «свободе воли» некоторых элементов материальных систем (хотя гораздо больше ученых, которые, подобно Г. Паску, употребляют это выражение лишь в качестве образной аналогии) и пытаются превратить эпикуровскую идею в некоторое знамя, утверждающее объективный идеализм. Раз частицы наделены «свободой воли», значит вероятностное описание явлений на квантовом уровне обусловлено тем, что частицы сами «решают», в какие моменты времени и в каких пределах им надлежит изменить состояние и положение в пространстве.

Отвергая подобные взгляды, Г. Цопф впадает в другую крайность. Согласно его концепции, вероятностные зависимости не есть отражение объективных свойств описываемых явлений, а только некий условный прием.

Впреки отмеченным крайностям, в науке утверждается взгляд, что **вероятность может быть не только мерой недостатка исходных данных, но и мерой объективной стохастичности связей исследуемой материальной системы.** Четкий анализ этой тенденции провел, в частности, А. С. Кравец. «Вероятностные представления,— отмечает он,— утверждались в науке долго и мучительно. Довольно продолжительное время они не принимались всерьез в науке, считались временным костылем, которым пользуется наука за неимением лучшего. Ученые не оставляли надежд заменить в дальнейшем вероятностные законы на «истинные», как они думали, законы жесткой детерминации».

Живучесть толкования вероятностных связей как выражения неполноты наших знаний была обусловлена совокупностью исторических и психологических причин. Если в Древней Греции научные теории строились чисто умозрительно, то со времени Возрождения и вплоть до наших дней верховным судьей теоретических концепций стал эксперимент. **Теория может быть признана справедливой только в том случае, если она способна предсказать, как будет протекать тот или иной реальный процесс.** Успех научных теорий в прогнозировании хода явлений создал веру в их, если можно так выразиться, «потенциальное всемогущество»: если не сейчас, то со временем наука способна все объяснить, а стало быть, и все предсказать; **главной задачей любой научной теории стали считать установление однозначных зависимостей, отклонения же от них — объяснять неточностью измерений, неполнотой исходных данных и т. д. и т. п.**

Отказ от сложившегося веками представления о научных теориях как о

средстве однозначных предсказаний хода изученных процессов потребовал не только интеллектуальной, но и психологической ломки, пережить которую не всем ученым было легко. Как заметил Ю. В. Сачков, вероятностным представлениям, введшим в науку принципиальную неоднозначность, «не хватало «изящества» однозначных предсказаний любых рассматриваемых связей». Подсознательное желание вернуться к «изящным» теориям, дающим возможность однозначно предсказывать ход процессов, и порождало ту самую иллюзию о неполноте и временном характере статистических теорий, из-за которой эти теории многие склонны были считать всего лишь «временным костылем».

Однако по мере развития вероятностных методов и получаемых с их помощью результатов укреплялось представление о том, что отрицание объективности вероятностных описаний явлений неизбежно приводит к выводу о существовании уравнения, о котором говорил в свое время Лаплас. Не столь существенно, знаем ли мы это уравнение сегодня, узнаем ли лишь завтра или не узнаем никогда; вместит ли исходные состояния всех частей природы один провозглашенный Лапласом гипотетически «обширный» ум или они могут быть достоянием многих (быть может, бесконечно многих) умов, — важно, что такое уравнение или система уравнений *в принципе* возможна, что в них заложена фатальная неизбежность «программы», которой подчиняется наш мир.

В действительности подобной «программы» не существует. «В ходе развития действительности,— пишет Ю. В. Сачков,— происходит не только выбор определенной возможности из множества заданных, но и возникают существенно новые возможности, а следовательно, не все возможности определены ранее действительностью. Новое всегда в чем-то не определено... Реальная жизнь всегда вносит коррективы, иначе следует признать абсолютную предопределенность настоящего прошлым с неизбежным сползанием в фатализм». Другими словами, **наука стоит перед дилеммой: либо признание феномена объективной стохастичности явлений, либо возврат к фатализму Лапласа. Третьего не дано.**

Польский ученый Мариан Смолуховский впервые поставил эксперимент, говорящий в пользу объективной природы случайных явлений; ему принадлежит и заслуга создания **теории флюктуации**. Эксперимент, придуманный Смолуховским, отличался остроумием и изяществом. До этого эксперимента считалось, что голубой цвет неба обусловлен наличием в воздухе посторонних частиц. Чтобы опровергнуть это объяснение, Смолуховский показал, что заключенный в специальной трубе идеально очищенный воздух тоже кажется голубым. Причиной этого являются стохастичные флюктуации плотности воздуха, обус-

ловленные тем хаотическим движением молекул, которые описал Джемс Максвелл.

Оказалось, что доказательство объективности случайных явлений в буквальном смысле «вitalo в воздухе». «Люди всегда имели живое доказательство перед глазами, нужно было только научиться читать в книге природы», — писал Смолуховский. «Поскольку дело касается применения в теоретической физике, все теории вероятностей, которые рассматривают *случайность как непознанную частичную причину*, должны быть заранее *признаны неудовлетворительными*. **Физическая вероятность события может зависеть только от условий, влияющих на его появление, но не от степени нашего знания**».

Исходя из представления об объективном характере вероятностных явлений и их связи с внешними условиями, В. А. Фок связал понятие «вероятность» с философской категорией «возможность», определив вероятность как потенциальную возможность поведения объекта. «Вероятность того или иного поведения объекта в данных внешних условиях,— пишет Фок,— определяется внутренними свойствами данного индивидуального объекта и этими внешними условиями; это есть численная оценка потенциальных возможностей того или иного поведения объекта. Проявляется же эта вероятность в **относительном числе** осуществившихся случаев данного поведения объекта; **это число и является ее мерой**. Таким образом **вероятность относится к отдельному объекту и характеризует его потенциальные возможности**...».

Аналогичную трактовку вероятностного описания траекторий элементарных частиц как некоей разновидности «потенций» дает В. Гейзенберг. Подчеркивая объективный характер вероятностных связей в таких физических явлениях, как флуктуации, броуновское движение, изменение энтропии во времени и т. п., Н. С. Крылов отмечает, что «вероятностный характер полученных результатов измерений является абсолютно *достоверным фактом опыта*, не менее достоверным, чем вероятностный характер рядов испытаний, полученных при любом другом, сколь угодно обоснованном приложении теории вероятности... Полученные при таких измерениях ряды результатов измерений обладают, следовательно, **общим свойством всех вероятностных рядов — отсутствием алгоритма**, который определял бы результаты последовательных измерений. **Сколько угодно сложная формула принципиально не может описать последовательный ход результатов измерений величин, подчиняющихся вероятностному закону распределения свойств**».

Отсутствие указанного алгоритма, позволяющего предсказать последующий ход событий, как раз и является выражением объективной

стохастичности случайных процессов. Именно неопределенностью, непредсказуемостью они отличаются от процессов, обусловленных жестко детерминированными связями, благодаря которым «при заданных внешних воздействиях начальное состояние однозначно определяет все дальнейшее движение системы». Объективный характер иррегулярности единичных явлений в стохастических процессах, выражающийся в отсутствии алгоритма, подчеркивает также А. С. Кравец: **«Невозможность алгоритмического описания вероятностной системы нельзя представлять себе как нашу объективную беспомощность, как ограниченность наших познавательных возможностей. Отсутствие детерминированных алгоритмов для вычисления отдельных результатов испытаний над системой представляет некоторый объективный закон вероятностной системы.** Невозможность нахождения того, чего в действительности нет, нельзя ни в коей мере считать проявлением нашего незнания или слабости наших методов познания».

Развивая ту же мысль об объективности вероятностных связей в целом ряде процессов, Б. Рассел приходит к выводу, что вопреки представлениям Лапласа в этих процессах «незнание все-таки не включено в понятие вероятности, которое имело бы тот же смысл для всеведущего существа, как и для нас». Больше того: «отсутствие всяких неизменных правил в отношении элементов вероятностной системы переходит в свою противоположность и *само становится некоторым правилом*, обязательным для вероятностных систем». *Вот почему для установления объективной стохастичности тех или иных процессов часто приходится специально доказывать с помощью многократно повторяемых выборок, что в них отсутствуют регулярная повторяемость и какая-либо жесткая детерминированная связь. Только в этом случае к исследованию этих явлений становится применимым статистический подход.*

Все сказанное выше относительно объективного проявления вероятностных связей в стохастических процессах вовсе не исключает случаев, когда введение вероятностей в те или иные расчеты и в самом деле обусловлено недостатком исходных данных. Так, например, с помощью определяемого статистическими методами так называемого среднего роста («математического ожидания» роста) можно довольно точно определить суммарную потребность в материале для спецодежды группы рабочих, если известно количество рабочих, но неизвестны размеры одежды каждого из них. В этом случае расчет содержит определенную долю субъективизма, обусловленную неполнотой предварительных сведений: отсутствием списка размеров одежды конкретных рабочих, неточностью выявления статистического «среднего

роста».

Задача статистического исследования тех или иных конкретных явлений обычно как раз и заключается в том, чтобы из задаваемых априорно распределений вероятностей исключить субъективный элемент. Так, например, при первых попытках оценки количества информации, содержащейся в письменных текстах, априорно предполагалась равная вероятность появления всех букв (именно так предлагал определять количество информации предшественник К. Шеннона Р. Хартли, используя формулу $I = \log N$, где N — число букв алфавита). Однако последующие статистические исследования письменного языка позволили не только обнаружить различия вероятностей появления разных букв в текстах, но и учесть статистически взаимосвязь (корреляцию) между буквами и словами. В результате исключения субъективного фактора (неполноты исходных сведений) при оценке статистической неопределенности русского текста с помощью функции

$$\sum_i p_i \log p_i$$

было установлено, что неопределенность эта меньше, чем заданная априорно (5 бит на букву), приблизительно в 5 раз.

6.1.3. Диалектическая природа вероятностного анализа

Решение вопроса о том, в какой мере заданные значения вероятностей или неопределенности (энтропии) отражают объективные свойства процессов, а в какой мере являются отражением неполноты априорных знаний, сопряжено с серьезными трудностями, отражающими диалектический характер взаимоотношения реальности и ее познания в науке.

Методология анализа стохастических процессов весьма выпукло отражает указанные трудности. Подчеркивая различия между диалектическим и метафизическим способами мышления, ряд ученых говорили о том, что при метафизическом подходе «какая-нибудь вещь, какое-нибудь отношение, какой-нибудь процесс либо случайны, либо необходимы, но не могут быть и тем и другим». Многие ученые до сих пор пытаются по принципу «или — или» противопоставить случайные явления необходимым. Можно указать три категории таких противопоставлений:

1. Объективное существование признается только за необходимыми связями, а случайные связи относятся к категории субъективных факторов.

2. Абсолютизируются случайные связи и отрицается объективное существование связей необходимых.

3. Признается объективность и случайных и необходимых связей, но отрицается возможность их совмещения во времени и в пространстве.

Примером отрицания объективности случайных связей может служить рассмотренная в предыдущем подразделе позиция Г. Цопфа. Как уже отмечалось, указанная позиция бытует в науке еще со времен Демокрита, а дальнейшее ее развитие привело к концепции механистического лапласовского детерминизма.

Не нова и тенденция абсолютизации роли случайных связей, хотя возникла она значительно позже в связи с развитием вероятностных методов и расширением круга решаемых этими методами задач. Чтобы проверить на практике действенность введенного в математику Паскалем и Ферма понятия вероятности, английский математик К. Пирсон подбрасывал монету 24000 раз. Убедившись, что закон равновероятного выпадания обеих сторон монеты выполняется тем точнее, чем большее число раз повторяется опыт, Карл Пирсон пришел к заключению, что «необходимость принадлежит лишь к миру понятий».

Так возникла новая метафизическая тенденция, полюсная по отношению к традиционному отрицанию объективности случайных явлений. Дальнейшее развитие этой метафизической тенденции привело к теории тепловой смерти Вселенной, утверждающей, что безраздельное господство случайностей — это будущее, ожидающее весь мир.

Убедительным опровержением концепций, противопоставляющих необходимость случайности, может служить устойчивость некоторых характеристик случайных процессов. Что означает, что вероятность некоторого события равна, например, 0,1? Это означает, что данное событие повторится примерно 10 раз из 100 выборок, или 100 раз из 1000, или 1000 раз из 10 000. При этом согласно установленному теорией вероятностей закону больших чисел соотношение 10/100, или 100/1000, или 1000/10 000 будет подтверждаться опытом тем точнее, чем больше произведено проб. Не есть ли это вероятностная форма проявления необходимости?!

С точки зрения диалектики упомянутый опыт К. Пирсона не опровергает необходимости. **Многократно подбрасываемая монета подтверждает существование необходимости, выраженной в вероятностной форме и заключающейся в том, что вероятностные соотношения выполняются тем точнее, чем больше произведено бросков.** Стоит лишь допустить, что такой необходимости объективно не

существует, как понятие вероятности теряет какой бы то ни было смысл. В самом деле, можно ли установить значение вероятности события, если в первой тысяче выборок оно повторилось 3 раза, во второй тысяче — 150 раз, а в третьей — 995 раз? Закон больших чисел свидетельствует о том, что лежащее в фундаменте теории вероятностей и теории случайных процессов основное понятие (вероятность) уже совмещает в себе два диалектически противоположных начала: **с одной стороны, оно говорит о том, что характеризуемое им явление случайно, а с другой — утверждает необходимость повторения этого случайного явления определенное наперед заданное число раз.** Так, сквозь «толпу» из N случайных событий пробивает себе дорогу необходимость, заключающаяся в том, что каждое i -е событие неизбежно должно повториться $p_i N = n_i$ раз (полагая, опять-таки, что $i = 1, 2, 3, \dots, \sum_i p_i = 1$).

При этом чем больше «толпа случайностей» (число N), тем четче проявляет себя необходимость (точнее выполняется соотношение $n_i = p_i N$).

В этом и заключается диалектика: случайность и необходимость, будучи по сути своей противоположны, в реальных явлениях неразрывно связаны между собой. Этой связи не улавливали те ученые, которые воспринимали развитие вероятностных методов в науке как доказательство безраздельного господства случайностей, исключающих всякую необходимость.

В несколько видоизмененной форме тенденция к крайностям в оценках роли случайных и детерминированных явлений существует и в науке наших дней. Так, например, анализируя процессы эволюции или творческого мышления с кибернетических позиций, многие авторы склонны абсолютизировать роль случайностей в процессах поиска новых решений. К подробному анализу «неометафизической» тенденции и вытекающих из нее выводов мы вернемся ниже.

Опыт исследований стохастических процессов, приобретенный современной наукой, со всей очевидностью **демонстрирует плодотворность диалектического анализа единства случайных и детерминированных связей явлений.** Как отмечает М. Лоэв, в течение почти двух столетий понятие вероятностной связи трактовалось как синоним независимости явлений. В начале нашего века благодаря исследованиям А. А. Маркова в теорию вероятностей прочно внедрились представления **о частичной зависимости, получившей название корреляции случайных величин.** Оказалось, что в ходе случайного процесса мгновенное значение изменяющегося по случайному закону параметра не полностью произвольно — оно в той или иной степени

зависит либо от других случайных параметров (взаимная корреляция), либо от того, каким был этот параметр несколько мгновений назад (автокорреляция). По величине введенных теорией случайных процессов коэффициентов корреляции можно судить, с какой степенью жесткости осуществляется в том или ином случайном процессе частично детерминированная связь.

В свете идей кибернетики наличие автокорреляции трактуется как одна из форм проявления **памяти стохастических систем**. В самом деле, если значение того или иного изменяющегося по случайным законам параметра зависит от того, каким был тот же параметр несколько мгновений назад, значит, система, в которой этот процесс протекает, обладает кратковременной памятью, регулирующей случайный процесс. Это не что иное, как еще одна из форм проявления взаимосвязи между сохраняемой (запоминаемой) информацией и упорядоченностью движения материальных систем.

Благодаря исследованиям Маркова вместе с понятием корреляции возникает понятие **стационарности случайных процессов**, выражающееся в неизменности усредненных статистических характеристик. В ходе стохастических процессов те или иные параметры приобретают различные случайные значения в каждый данный момент; вместе с тем усреднение этих параметров за длительный интервал времени обнаруживает, что и при случайных изменениях соблюдается свой порядок. Выражением этого порядка является неизменность во времени таких характеристик, как **распределение вероятностей, коэффициент корреляции, математическое ожидание, моменты распределения различных порядков** и т. п. Развитие теории случайных процессов явственно показывает, что понятие «чистой случайности» относится к области теоретических абстракций, поскольку **все реальные случайные процессы в той или иной степени детерминированы.**

Изучение соотношения случайности и необходимости, их диалектической взаимосвязи очень важно для науки. Так, например, успехи квантовой физики в немалой степени связаны с тем, что ее теоретические концепции базируются на учете взаимосвязей этого рода. **В квантовой механике вероятностный характер поведения микрочастиц, описываемый волновым уравнением Шредингера, прекрасно уживается с детерминированными характеристиками тех же микрочастиц: квантовыми числами, спинами, странностями и т. п.** Именно эти параметры характеризуют упорядоченность квантовомеханических процессов, регламентируют стохастическое движение микрочастиц.

Другим примером неразрывного сочетания случайных и детерминированных связей могут служить модели так называемых

эмергентных (творческих, создательных) процессов, создаваемые с помощью электронно-вычислительных машин. Практика создания программ для ЭВМ, имитирующих элементы эвристического (творческого) мышления, со всей очевидностью показала, что для решения задач эвристики в жестко детерминированные процедуры должен быть обязательно включен элемент случайности (стохастичный сигнал). В этом и заключается смысл метода Монте-Карло, а также метода «проб и ошибок». При случайном поиске оптимальных решений с помощью электронной машины каждый удачный шаг неизбежно сопровождается множеством ошибочных проб. Сразу напрашивается аналогия между процессом, протекающим в действующей по методу «проб и ошибок» электронной машине, и биологической эволюцией, осуществляющейся посредством естественного отбора, т. е. опять-таки ценой множества неудачных попыток.

Стоит лишь сопоставить эволюцию с машиной, работающей по принципу «проб и ошибок», чтобы обнаружить, что в обоих случаях основой является взаимодействие **трех компонентов**: (1) случайных данных (стохастические сигналы, генерируемые в электронной машине, мутации генов в живых организмах); (2) ограничения пределов случайного поиска (коррективы поиска и запоминание оптимальных решений в машине; сохраняемый поколениями генетический код) и (3) отбора рациональных случайных данных (в машине—по критерию приближения результатов решений к условиям оптимума, в природе — по адекватности новых признаков условиям внешней среды).

Согласно научной генетике ограничения случайной изменчивости организмов, обеспечивающие сохранение поколениями живых организмов главных признаков вида, обусловлены независимостью программы, заложенной в генетическом коде, от сигналов, поступающих в организм из внешней среды. **Внешними факторами, приводящими к мутациям генов, являются не информационные, а энергетические воздействия (например, жесткие излучения), дающие не адекватные изменения, а случайные замены нуклеотидов в молекуле ДНК.** В результате в самом организме или его потомстве возникают новые свойства — признаки, рассматриваемые в дарвиновской теории как результат случайной изменчивости. Затем вступает в действие механизм естественного отбора, с помощью которого природа «решает», какой из случайно возникших признаков в данных условиях оптимален и достоин быть закрепленным в потомстве.

Аналогия между биологической эволюцией и поиском эвристических решений, осуществляемым с помощью ЭВМ, имеет глубокие корни. Она обусловлена тем, что оба рассматриваемых процесса относятся к процессам диалектического развития,

приводящим к возникновению новых признаков, качеств и свойств. В основу обоих процессов заложено диалектическое единство двух противоположных начал: случайного поиска и детерминированного отбора.

Данный принцип, по всей видимости, является универсальным для всех видов эмерджентных процессов, будь то творческий поиск решения научной проблемы или творчество самой природы, воплощающееся в эволюционном процессе. Вместе с тем наряду с общностью принципов эвристических программ ЭВМ и естественно протекающих эмерджентных процессов между ними существует и немало различий. Так, например, сопоставление результатов исследований свойств клетки коры головного мозга (нейрона) с логическими элементами, используемыми в схемах ЭВМ, обнаруживает существенные различия между принципами обработки информации в головном мозге и в машине. **Электронный логический элемент имеет два устойчивых состояния, соответствующих двум знакам двоичного кода (0 или 1) или двум логическим возможностям («да» или «нет»).** Сигналы же, вырабатываемые нейроном, нельзя свести к двум указанным знакам, так как существенную роль в нервных процессах играют их **флуктуации по интенсивности и частоте.** Этот экспериментально установленный факт послужил причиной возникновения гипотезы, согласно которой **в основе обработки информации в коре головного мозга лежит не столько двузначная, сколько вероятностная («серая») логика.**

Если двузначная логика на каждом этапе дает одно из двух заключений («да» — «нет») с вероятностью 1, то вероятностная логика допускает любые значения вероятностей указанных утверждений. В результате возникает логика, в которой утверждения распределены по шкале вероятностей, т. е. охватывают всю гамму оттенков «серого цвета», распределенных между двумя полюсами:

«белым» ($p_{\text{«да»}}=1, p_{\text{«нет»}}=0$) и «черным» ($p_{\text{«нет»}}=1, p_{\text{«да»}}=0$). При этом на смену «жестким» оценкам исследуемых явлений по принципу «или — или» приходят, оценки, допускающие в качестве промежуточного или конечного утверждения заключения типа «да, частично» («да» — с вероятностью p); «и да и нет» («да» — с вероятностью p , «нет» — с вероятностью $1 - p$).

Как уже отмечалось, факт реализации «серой» логики в мозге пока является гипотетическим. **Правомерность существования вероятностной логики наряду с двузначной логикой, основанной Аристотелем и математизированной Булем, обоснована в ходе дальнейшего развития электронно-вычислительной техники и связанных с ней теоретических направлений.** Можно утверждать, что элементы

подобной логики содержатся во всяком вероятностном описании, ибо установление того факта, что некое свойство объекта может реализоваться с вероятностью p или не проявиться с вероятностью $(1 - p)$, означает признание за данным объектом права быть «и тем и другим».

Метафизические выводы «или — или» устанавливают «hard and fast lines» (абсолютно резкие разграничительные линии) явлений. Возникающие при вероятностных оценках заключения типа «и да, и нет» переводят «друг в друга неподвижные метафизические различия», позволяют исследовать процессы диалектического развития, в которых «все различия сливаются в промежуточных ступенях, все противоположности переходят друг в друга через посредство промежуточных членов». Вот почему именно вероятностные методы позволяют современной науке исследовать **единство противоположностей волновых и корпускулярных свойств микрочастиц, процессы развития биологических видов, мышления, языка и прочих самоорганизующихся систем.**

В самом деле, до тех пор, пока вопрос о закономерностях развития биологических видов наука пыталась рассматривать с позиций «жесткой» логики, научная мысль бесплодно вращалась в порочном кругу. До появления теории Дарвина периодически возникали споры между представителями двух метафизических школ. Одна из них утверждала, что в процессе развития организм не испытывает никаких качественных изменений, потому что в оплодотворенном яйце уже существует в миниатюре весь будущий организм; эта точка зрения нашла свое выражение в теории *преформизма*. Другая метафизическая концепция — теория *эпигенеза*; согласно этой концепции признаки, возникающие при развитии организма, полностью соответствуют условиям среды. Отсюда следует, что каждое поколение заново «вырабатывает» все полезные для него признаки, а потому отсутствуют наследственность и накопление полезных признаков.

Взглянем на вопрос с позиции «вероятностной логики». Существует ли изменчивость организмов? Теория эпигенеза дает ответ «да», теория преформизма дает ответ «нет». Оба ответа категоричны и однозначны, поэтому взаимно исключают друг друга. И в этом ошибочность обеих теорий. Теория эволюции дает ответ типа «да, частично». Изменчивость есть, но не безграничная, а в определенных рамках (в пределах заложенной в генах «программы»), сохраняющих главные признаки биологических видов и в то же время допускающих возможность их эволюции. И в этом заключается диалектическая природа эволюции, рассматриваемой со времен Дарвина как результат борьбы двух противоположных начал: стремления к изменчивости и стремления

к сохранению основных признаков вида, которые несет в себе наследственный генетический код.

Аналогичный этап перехода от метафизических детерминистских трактовок явлений по принципу «или — или» к признанию вероятностной природы исследуемых объектов пришлось пережить физике элементарных частиц. **История возникновения квантовой физики — еще один пример перехода от «двузначной» к «вероятностной» логике, характерного для современной науки.** Анализируя фундаментальные выводы квантовой физики, легко обнаружить связь между присущими вероятностному анализу заключениями типа «и да, и нет», «да, частично», с одной стороны, и результатами исследований элементарных частиц, с другой.

Находится ли частица в данной точке пространства? На этот вопрос не может быть дан присущий «детерминистской» логике однозначный ответ. Квантовая механика дает ответы «да, частично», «и да, и нет»: вероятность того, что частица находится в данной точке пространства пропорциональная квадрату амплитуды шредингеровской ψ -волны.

С подобными ситуациями при исследовании процессов на квантовом уровне физика сталкивается буквально на каждом шагу. Так, например, световой луч, проходящий сквозь кристаллическую решетку, поляризуется частично в направлении, параллельном оптической оси кристалла, а частично — перпендикулярно этой оси. Эту особенность квантовой физики отметил один из ее создателей П. Дирак: «В классическом смысле слова нельзя представить себе, что система находится частично в одном состоянии, а частично в другом и что это эквивалентно тому, что система целиком находится в некотором третьем состоянии. Здесь вводится совершенно новая идея, к которой надо привыкнуть».

Развитие современной науки, и в первую очередь квантовой физики и теории самоорганизующихся систем, со всей убедительностью показало, что заключенная в «вероятностной логике» субъективная диалектика является отражением объективной диалектики взаимодействия случайных и детерминированных связей, лежащего в основе всех процессов развития материальных систем.

Ретроспективный взгляд на развитие научного мировоззрения с позиций современной науки позволяет сделать следующий вывод: ***обобщением анализа, основанного на детерминистических трактовках, являются законы сохранения*** (например, установленные классической физикой законы сохранения энергии, массы, импульса, закон движения небесных тел по неизменным орбитам и т. п.). ***Статистические закономерности, для исследования которых наука***

неизбежно обращается к статистическим мерам (корреляции, информации, энтропии) — фундаментальный источник всех изменений, происходящих в реальных процессах (будь то превращение энергии из одной формы в другую, взаимные превращения элементарных частиц, развитие самоорганизующихся систем, образование из космической пыли новых космических тел и т. п.).

В заключение следует отметить, что в настоящее время для описания различных истин, их анализа и синтеза используется нечеткая математика, в том числе, нечеткая логика, о чем будет идти речь в последующих книгах настоящей работы.

6.1.4. Энтропия как мера неупорядоченности статистических форм движения

Решаемые с помощью теории информации задачи техники связи в значительной мере усложняются тем, что далеко не вся переданная информация доходит до получателя сообщений, так как значительная часть ее теряется в канале связи из-за воздействия помех. Главная задача, которую решает теория информации в ее, так сказать, «классическом» виде, заключается именно в том, чтобы **с помощью специально разработанных кодов и оптимально найденных параметров каналов связи свести к минимуму значения обусловленных шумами информационных потерь.**

С точки зрения интересующего нас аспекта объективной роли информации в процессах развития важно обратить внимание на то обстоятельство, что в «классической» теории информации одним из звеньев канала передачи и приема информации является ее получатель, субъективные свойства которого (априорная и апостериорная осведомленность) играют при исчислениях информации принципиальную роль. Исходя из этого, как мы уже говорили, предлагалось определить количественную меру информации (информируемости) как «меру неведения» или «меру неожиданности», подчеркивая этим тот факт, что чем неожиданнее (маловероятнее) для получателя сообщение, тем больше информации оно несет. (В качестве иллюстрации обратного явления можно вспомнить пример сообщений, подобных фразе «Волга впадает в Каспийское море». Благодаря априорной осведомленности об этом факте, сообщение не является неожиданным для большинства получателей, и потому для них содержащаяся в нем информация (информируемость) равна нулю.)

Р. Харгли, который предпринял первую попытку исчисления

информации, старался полностью исключить фактор «неожиданности». Он предложил определять количество информации с помощью формулы: $I = \log N$, где N — число возможных вариантов сообщения (например, число букв алфавита).

Хартли понимал, что разные сообщения имеют различную вероятность, а потому неожиданность их появления для получателя различна. Однако он решил, что фактор «неожиданности» «относится к компетенции психологии и не должен интересовать инженера-связиста». К. Шеннон ввел в теорию «неожиданность», предложив учитывать различные вероятности с помощью функции

$$\sum_i p_i \log p_i.$$

Оказалось, что формула, предложенная Хартли,— это всего лишь частный случай более общей формулы Шеннона. В самом деле, если в формуле Шеннона принять

$$p_1 = p_2 = \dots = p_i = \dots = p_N = \frac{1}{N},$$

мы получаем:

$$I = - \sum_{i=1}^{i=N} \frac{1}{N} \log \frac{1}{N} = - \log \frac{1}{N} = \log N.$$

Тот факт, что формула Шеннона в самом деле учитывает неожиданность сообщений, подтверждается не только общими рассуждениями, но и конкретным психологическим экспериментом, о котором будет рассказано ниже. Но означает ли это, что предложенная К. Шенноном мера количества информации в основе своей субъективна? Если бы это было так, понятие «информации» никогда не смогло бы выйти за рамки своего первоначального обиходного смысла и оставалось бы термином, обозначающим приобретение тем или иным субъектом каких-то сведений или знаний. Между тем, по мере развития науки и техники выявляется все большее количество информационных процессов, протекающих без участия каких бы то ни было наблюдателей и субъектов. Примером тому может служить обмен информацией между живыми (но отнюдь по мыслящими, а стало быть, и не осознающими информацию и ее «неожиданность») клетками, между звеньями автоматов и электронных машин. В науке возникла настоятельная потребность разграничить объективное и субъективное в содержании понятия информации, рассмотреть и те случаи, когда количество информации в самом деле определяется осведомленностью получателя, и те случаи, когда субъект из процесса полностью исключен.

Собственно говоря, с момента рождения теории информации этот вопрос все время стоит на повестке дня. Именно он заставил Р. Хартли

исключить, из формулы «неожиданность»; именно он заставил К. Шеннона неоднократно подчеркивать, что **предложенная им мера количества информации учитывает лишь вероятности сообщений, но игнорирует такие субъективные характеристики сообщений, как их ценность и смысл**. Согласно теории Шеннона, сообщение о том, что родился мальчик или девочка, содержит такое же количество информации, как сообщение о том, кому из шахматных партнеров выпал первый ход белыми (1 бит), хотя эти сообщения имеют совершенно разную субъективную ценность для отца родившегося ребенка и для «болельщика» шахмат.

Однако исключение ценности и смысла информации устранило субъективизм этого понятия не полностью, а лишь частично. Дело в

$$\sum p_i \log p_i.$$

том, что входящие в функцию $\sum p_i \log p_i$ вероятности тоже в той или иной степени субъективны. Так же, как и информация, вероятность может характеризовать и объективные свойства стохастических процессов, и степень недостатка исходных сведений, когда, например, в силу незнания статистических свойств исследуемой системы наблюдатель первоначально считает, что вероятности всех исходов равны. Для того чтобы из априорно заданных значений вероятностей полностью исключить обусловленную первоначальной неосведомленностью субъективность и получить значение вероятностей, характеризующее объективные статистические свойства исследуемых систем, требуется получить и обработать огромное количество данных. На вопросе об объективной и субъективной сущности понятия вероятности мы остановимся подробнее ниже. Задачей данного раздела является выявление объективного содержания понятия информации и его связи с понятием энтропии.

Развитие кибернетики со всей очевидностью показало, что способность сохранения априорных и апостериорных сведений (т. е. информации предварительной и вновь поступившей) о том или ином объективном явлении присуща не только обладающим сознанием субъектам, но и искусственно созданным системам памяти электронных машин. **Основой создания искусственной памяти является в свою очередь способность тех или иных физических тел сохранять (запоминать) результаты воздействия электрических и магнитных полей.**

Очевидно, что понятие «неожиданность», вполне приемлемое при рассмотрении получающего информацию субъекта, становится неприменимым, когда речь идет об объективном взаимодействии неодушевленных (а потому ничего не «ожидающих») физических тел. Однако и в этом случае процесс получения и накопления информации мо-

$$\sum_i p_i \log p_i.$$

жет быть описан с помощью той же функции

Чтобы убедиться в этом, достаточно представить себе систему, элементы которой двигались бы беспорядочно (т. е. имели равные вероятности всех направлений), а затем, в силу каких-то внешних причин, приобрели упорядоченность движения, характеризуемую неравномерным распределением значений p_i . Это значит, что до воздействия система обладала энтропией $H_1 = H_{\max}$, а после воздействия ее энтропия уменьшилась до величины H_2 . Другими словами, **благодаря воздействию извне система приобрела информацию $I_0 = H_1 - H_2$** . Именно в этом и заключается сущность установленного Л. Бриллюэном **негэнтропийного принципа информации**, согласно которому, **приобретая информацию H_0 , система неизбежно уменьшает свою энтропию на величину ΔH , причем $|\Delta H| = I_0$** .

В этой связи хотелось бы подчеркнуть, что понятие информации совершило в науке своеобразный и необычный путь. Сначала из обиходного термина, означавшего приобретение новых сведений и знаний, **информация превратилась в строго научное понятие, имеющее свою количественную меру и пригодное для строгого и точного анализа сложных каналов связи и различных кибернетических систем. Затем понятие информации распространилось на организмы и клетки. Негэнтропийный принцип информации позволяет распространить понятие информации на область исследования кристаллов, молекул, атомов и прочих упорядоченных неорганических систем.** Очевидно, настало время, когда, отказавшись от хронологической последовательности событий, можно попытаться поставить этот вопрос «с головы на ноги», начав информационные исследования не с мозга и электронной машины, а с таких простых систем, как газ, жидкость или кристалл. Для этого придется прежде всего рассмотреть **с новых позиций сущность понятия физической энтропии**.

Рассмотрение сложной картины явлений, связанных с изменением энтропии различных материальных систем (истин), следует начать с **установления связи энтропии системы с характером движения элементов системы**. Как известно, состояние термодинамического равновесия физических тел (в частности, газа) характеризуется **максимальным значением энтропии, означающим наибольшую неупорядоченность движения молекул**. Данному состоянию соответствует **наиболее равномерное распределение значений скоростей**. Абстрагируясь от конкретных истин, можно представить себе такую систему, в которой в каком-то интервале скоростей перемещение каждой молекулы в любом направлении и с любой скоростью имело бы одинако-

вую вероятность. В этом,случае согласно рассмотренным свойствам функции $\sum_i p_i \log p_i$. определяемая формулой энтропия H достигает максимального значения.

Однако статистический анализ отвергает возможность реального существования подобных систем. Как известно, **плотность вероятности, соответствующая наибольший неопределенности системы при заданной мощности процесса, подчиняется нормальному закону распределения**. Указанное свойство находит свое отражение в кривых Максвелла, приведенных на рис. 1.

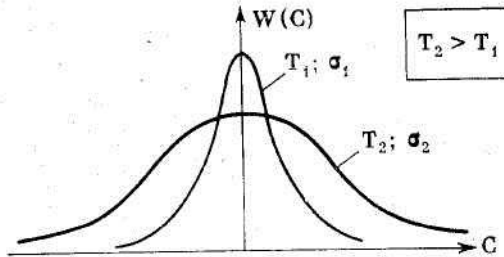


Рис. 1

Сопоставляя кривые распределения скоростей при различных температурах (T_1 и T_2 на рис. 1), нетрудно прийти к заключению, что увеличение энтропии идеального газа при увеличении его температуры от T_1 до T_2 обусловлено увеличением неупорядоченности движения молекул, т. е. более равномерным, приближающимся к равновероятному распределением скоростей $W(C)$.

Увеличение энтропии, происходящее при нагревании тела от температуры T_1 до температуры T_2 , определяется классической термодинамикой как:

$$\Delta H = \frac{1}{K} \int_{T_1}^{T_2} \frac{Q}{T} dT, \tag{1}$$

где K — постоянная Больцмана; Q — количество тепла, необходимого для нагревания газа от температуры T_1 до температуры T_2 . При этом классическая термодинамика не рассматривает изменений микроструктуры нагреваемого тела. Соотношение (1) констатирует лишь тот факт, что при получении физическим телом определенного количества тепла его энтропия растет.

Статистическая физика позволяет связать увеличение энтропии идеального газа с увеличением неупорядоченности движения молекул,

выражающимся увеличением дисперсии кривой распределения вероятностей их скоростей (рис. 1). Согласно разработанной Дж. Максвеллом кинетической теории идеального газа в состоянии термодинамического равновесия распределение вероятностей скоростей подчиняется нормальному закону. При этом дисперсия вероятностного распределения связана с температурой газа соотношением:

$$\sigma = \sqrt{\frac{KT}{m}}, \quad (2)$$

где m — масса молекулы.

Известно, что при нормальном законе распределения энтропия выражается как:

$$H = \ln \sigma \sqrt{2\pi} + \frac{1}{2}. \quad (3)$$

Используя соотношения (2) и (3), нетрудно определить приращение энтропии, происходящее при нагревании идеального газа от температуры T_1 до температуры T_2 (рис. 1):

$$\Delta H = \ln \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{1}{2} \ln \frac{T_2}{T_1}. \quad (4)$$

(Соотношение (4) не учитывает направления движения молекул. Учет распределения скоростей по трем осям координат приводит к выражению:

$$\Delta H(x; y; z) = \frac{3}{2} \ln \frac{T_2}{T_1}.)$$

Выражение (4) и представленные на рис. 1 кривые Максвелла показывают, что приращение энтропии идеального газа обусловлено увеличением дисперсии распределения вероятностей, т. е. более неупорядоченным, приближающимся к равновероятному распределением скоростей.

Кривые Максвелла отражают только распределение абсолютных значений скорости. Понятие энтропии является более «емким»: **энтропия зависит и от абсолютных значений скоростей, и от направлений движения, и от пространственного распределения движущихся частиц.** С целью статистического учета всех параметров движения множества частиц Дж. Гиббс предложил использовать **многомерное фазовое пространство (Г-пространство)**, с числом координатных осей, равным $2mN$, где N — число входящих в рассматриваемую систему частиц, а m — число степеней свободы каждой частицы. В результате такого анализа Гиббс получил следующее выражение энтропии:

$$H = -\frac{1}{K} \ln \int d\omega, \quad (5)$$

где $d\omega$ — элементарный объем фазового пространства, определяемый как:

$$d\omega = dv_q dv_p; \quad (6)$$

$$dv_q = dq_1 dq_2 \dots dq_N; \quad (7)$$

$$dv_p = dp_1 dp_2 \dots dp_N; \quad (8)$$

q — геометрические координаты частиц в Γ -пространстве; p — динамические координаты частиц (импульсы) в Γ -пространстве.

Приведенные соотношения показывают, что энтропия системы растет по мере увеличения неупорядоченности движения элементов, так как при этом увеличивается диапазон возможных значений координат и импульсов, а следовательно, и объем фазового пространства, определяемый соотношением (6) и связанный с величиной энтропии соотношением (5).

Таким образом, проделанный Гиббсом анализ еще раз подтвердил, что состоянию термодинамического равновесия, характеризующему максимальным значением энтропии, соответствует наибольшая неупорядоченность движения частиц. **Неупорядоченность эта выражается максвелловским распределением скоростей, равной вероятностью всех направлений движения и приблизительно равным количеством частиц, находящихся в одинаковых объемах занимаемого газом пространства в каждый момент.** Для наглядности можно противопоставить этому случаю такое упорядоченное движение, при котором все частицы движутся в одном направлении с равными скоростями, соблюдая при этом, как на параде или в балете, определенный пространственный «узор». Этот образ введен нами чисто абстрактно, однако известно, что в природе существует немало подобных, в той или иной степени упорядоченных систем. Используя методы Больцмана или Гиббса, можно показать, что по мере увеличения упорядоченности движения элементов системы энтропия последней падает, стремясь в пределе к нулю (например, когда возможно только одно абсолютное значение и направление скорости, а вероятности остальных равны нулю).

Мы коснулись методов статистического анализа энтропийных процессов, разработанных в свое время Л. Больцманом и Д. Гиббсом, преследуя единственную цель: показать, что и многомерное фазовое пространство Гиббса и ранее разработанный Больцманом метод ячеек в пространстве скоростей, с помощью которого удалось впервые дать вероятностную интерпретацию энтропии, появились с целью

статистического учета *параметров движения микроэлементов систем*.

Однако принятые в статистической физике определения энтропии как «меры вероятности состояния» или «меры неопределенности состояния» физических тел не отражают взаимосвязи движения с энтропией. Рассмотренные соотношения позволяют сделать вывод о том, что физическая энтропия является статистической мерой неупорядоченности движения микроэлементов физических тел.

Определение энтропии как меры неупорядоченности движения остается в силе и в том случае, когда от непрерывного распределения вероятностей $W(X)$ переходят к рассмотрению характерных для информационных процессов дискретных значений вероятностей p_i . Именно благодаря этой общности понятия энтропии можно рассматривать процессы передачи и накопления информации в непосредственной связи с физическим состоянием участвующих в этих процессах материальных тел. Так же как и физическая энтропия, энтропия сообщений возрастает по мере увеличения равномерности распределения значений p_i . В предельных случаях вероятности всех значений параметров передаваемого сигнала (частот, уровней, яркостей и т. п.) будут равны друг другу. При этом звуковой сигнал становится шумом (например, так называемый Гауссов шум характеризуется равновероятным распределением всех частот в широком диапазоне, а распределение вероятностей амплитуд подчиняется нормальному (Гауссовому) закону), изображение представляет собой хаотичное чередование всех ступеней яркости в кадре и напоминает снежный буран. Энтропия таких сообщений достигает максимума, а количество информации равно нулю.

Текст с максимальной энтропией — это текст с равновероятным распределением всех букв алфавита, т. е. бессмысленное чередование букв. Вот пример подобного текста:

СУХРРОБЫЦ ЯЫХВЦИЮАЙЖТЛ-
ТФВЛЭСТРОЕНВШТЦРХГЪКУЧЖЮРЯНЧЬКЙХРЫС.

6.1.5. Информация как мера упорядоченности статистических форм движения

Если при составлении текста учтена реальная вероятность букв, в получаемых таким образом «фразах» уже наблюдается определенная упорядоченность движения (чередования) букв: ЫТ ЦИЯБА ОКРВ ОДНТ БЧЕ МЛОЙК ЗЪЯ ЕНВ ТША.

При учете вероятностей четырехбуквенных сочетаний текст становится настолько упорядоченным, что по некоторым формальным

признакам весьма напоминает осмысленный текст: ВЕСЕЛ ВРАТЬСЯ НЕ СУХОМ И НЕ-ПО И КОРКО.

В данном случае информация о статистических закономерностях письменных текстов является причиной упорядоченного движения (чередования) в создаваемой последовательности букв. В осмысленных фразах вероятности появления тех или иных букв еще более

$$\sum_i p_i \log p_i$$

дифференцированы. В соответствии со свойствами функции $\sum_i p_i \log p_i$ это приводит к уменьшению энтропии текста,

$$|\Delta H| = I.$$

Таким образом, количеством информации, содержащейся в том или ином сообщении, можно характеризовать степень упорядоченности движения (чередования) кодовых знаков. Упорядоченность будет тем больше, чем больше дифференцированы значения p_i . Благодаря этой дифференциации передаваемый радиосигнал сохраняет членораздельную речь или музыку, а на телеэкране возникает изображение, представляющее собой упорядоченное чередование различных ступеней яркости.

Следует еще раз подчеркнуть, что и в данном случае

$$\sum_i p_i \log p_i$$

функция $\sum_i p_i \log p_i$ опять-таки характеризует движение.

В общем случае в формуле Шеннона под символом p_i подразумевается вероятность каких-то событий, а события могут происходить лишь там, где существует движение (воздействие). Передача любых сообщений осуществляется путем упорядоченного движения условных знаков, уровней, яркостей или частот. Для сохранения информации в ячейках памяти электронной машины необходимо поддерживать строго упорядоченное движение электронных потоков или магнитных полей.

С целью сохранения информации человек создал неподвижные модели движения, к числу которых относятся кинопроекционные ленты, магнитные носители или печатный текст. Однако для получения информации от любой неподвижной модели необходимо вспомогательное движение: лента движется электромотором, движение букв, существовавшее в момент написания текста, восстанавливается глазами, движущимися вдоль строк. Информация, передаваемая с пульта управления автоматическому станку, содержит в себе «модель» (алгоритм) движения его органов. В то же время подача дополнительной энергии при отсутствии новых команд может лишь увеличить интенсивность движения, сохранив прежний порядок. Таким образом, энергия является мерой интен-

сивности движения, а информация — мерой его упорядоченности.

Как правило, все технические средства передачи информации предназначены для передачи «модели движения» на уровнях энергии значительно более низких, чем уровни энергии наблюдаемого движения или того движения, которым они должны управлять (в некоторых случаях энергия сигналов превышает энергию наблюдаемого движения ввиду того, что последняя слишком мала. Примером такого устройства может служить счетчик Гейгера — Мюллера.) Такое соотношение уровней энергии обеспечивает возможность управлять движением на расстоянии при условии минимальных потерь энергии в каналах связи.

В области биологических явлений получение информации является необходимым условием целесообразной направленности всех жизненных процессов. Различные внешние раздражители служат сигналом для включения тех или иных «моделей движения», сохраняемых центральной нервной системой живых организмов. Эти «модели» управляют рефлекторными движениями внешних и внутренних органов, обеспечивая тем самым рациональное взаимодействие со средой.

Используемая для оценки количества информации функция

$$\sum_i p_i \log p_i$$

позволяет оценивать степень упорядоченности движения, существующего в материальных системах, предназначенных для передачи или хранения информации. С таким же успехом с помощью данной функции можно оценивать упорядоченность движения в естественно протекающих физических процессах. В предыдущем пункте мы говорили о том, что тело, находящееся в состоянии термодинамического равновесия, характеризуется равномерным (точнее, Гауссовым) распределением вероятностей скоростей. При этом функция

$$\sum_i p_i \log p_i$$

достигает максимальной величины, а упорядоченность движения микроэлементов системы стремится к нулю. Но стоит лишь вывести систему из этого состояния, создав в различных частях ее разность температур или давлений, как в ней возникнут преобладающие направления движения в сторону более низких давлений и более низких температур. Степень упорядоченности движения, существующего в этой системе, в принципе может быть оценена с помощью той же функции

$$\sum_i p_i \log p_i$$

. Для этого надо учесть, что в системе есть преобладающее направление, которому соответствует наибольшая вероятность p_i . Вероятность других направлений становится меньше (поскольку

$$\sum_i p_i = 1),$$

а перераспределение вероятностей, как мы отмечали выше,

приводит к уменьшению абсолютной величины функции $\sum_i p_i \log p_i$. В ходе теплообмена (или выравнивания давлений) различие в величинах p_i

становится меньше и энтропия $H = - \sum_i p_i \log p_i$ будет расти.

Таким образом, использование одной и той же функции $\sum_i p_i \log p_i$ при анализе энтропии сообщений и энтропии физических тел отнюдь *не является чисто формальным математическим приемом*, так как и в том и в другом случае с помощью этой функции оценивается степень упорядоченности движения элементов тех или иных материальных систем.

Уменьшение абсолютной величины $\sum_i p_i \log p_i$, происходящее за счет перераспределения вероятностей p_i различных направлений движения, можно расценивать как возникновение *негэнтропии*. В соответствии с негэнтропийным принципом информации, установленным Л. Бриллюэном, количеству информации I , сохраняемой в системе памяти электронной машины, соответствует негэнтропия ΔH , возникающая в данной системе, причем $|\Delta H| = I$. Согласно Л. Бриллюэну, в равной степени справедливо и обратное утверждение: **наличие негэнтропии в физическом теле, обладающем разностью температур или давлений, может расцениваться как сохранение информации в количестве $I = |\Delta H|$** . Таким образом, для физических тел, так же как и для информационных процессов, функция

$\sum_i p_i \log p_i$ позволяет оценивать степень упорядоченности движения, и лишь **благодаря упорядоченности движения, присущей кристаллическим или магнитным ячейкам, мы можем для хранения информации прибегать к помощи физических тел.** Увеличение степени упорядоченности движения является общей тенденцией эволюции материального мира. Без этой тенденции, проявляющейся даже в простых неорганических формах материи, невозможно было бы возникновение более сложных информационных систем.

6.1.6. Развитие — накопление информации

Наиболее ярким примером, иллюстрирующим связь эволюции материальных систем с увеличением степени упорядоченности движения, может служить живая природа. Весь процесс развития жизни и переход

от простых ее форм к более сложным связаны с **передачей наследственной информации и с закреплением рациональных наследственных признаков** путем естественного отбора. В свете рассмотренных выше закономерностей есть основания утверждать, что информация, сохраняемая половой клеткой, содержит в себе «модель развития» вновь рожденного организма, подобно тому как информация, передаваемая с пульта управления, является «моделью движения» автоматического станка.

Диалектика издавна утверждает, что развитие — это одна из форм движения. Теперь к этому можно добавить, что **информация — это единая мера упорядоченности движения, пригодная для оценки любых его форм, начиная от механических перемещений частиц в пространстве и кончая процессами развития самых сложных систем.**

В самом деле, **необходимым условием развития (жизнедеятельности) организма является непрерывное получение информации, с помощью которой осуществляется процесс авторегулирования, обеспечивающий устойчивость организма в различных условиях внешней среды.** По мере развития форм живой материи усложнялась структура нервной системы и увеличивалось количество информации, сохраняемой организмами. Вместе с тем увеличивалась и упорядоченность движения, что приводило к более четкой дифференциации функций различных органов и усложнению общей структуры биологических систем.

Однако жизнь не могла возникнуть случайно: ее появление было подготовленным закономерным этапом в общем ходе развития материального мира. При этом общей тенденцией эволюции являлся процесс увеличения степени упорядоченности движения, присущий всей неорганической природе, начиная от процесса возникновения планетных систем и галактик и кончая процессами упорядочения движения, свойственными микроструктуре материальных систем. Отличие неупорядоченных физических систем (например, газа) от систем, обладающих упорядоченной структурой, заключается в том, что последние, находясь в состоянии устойчивого равновесия, **сохраняют стабильные траектории движения элементов.** Разумеется, указанную «стабильность» следует понимать в статистическом смысле, т. е. полагать, что определенные направления движения имеют в данном случае большую вероятность. **Примером такой системы могут служить кристаллические структуры твердых веществ.**

Перераспределение вероятностей направлений движения, возникающее **при переходе от жидкой фазы к кристаллическому состоянию вещества, приводит к появлению негэнтропии, которая**

может быть оценена как уменьшение абсолютного значения

величины $\sum_i p_i \log p_i$. При этом система приобретает способность

передачи «моделей движения» окружающим молекулам жидкости. Такая «модель» передается от кристаллов, внесенных извне, в случае выращивания кристаллов, или от центров кристаллизации, возникающих в структуре кристаллизующихся веществ. Этот процесс передачи «моделей движения» является информационным процессом и переходным этапом к возникновению более сложных форм.

Науке известны различные стадии существования вирусов. В одной стадии вирус кристаллизуется, а в другой приобретает качественные признаки, присущие только живым организмам, в том числе и способность передачи «моделей движения», имеющих биологический код.

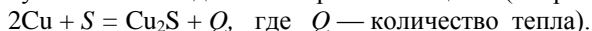
Сопоставив предлагаемую трактовку понятия информации с некоторыми выводами теории вероятностей, можно обосновать объективную необходимость увеличения упорядоченности движения в результате взаимодействий. Исследуя взаимодействие двух статистических множеств (X и Y), обладающих энтропией $H(X)$ и $H(Y)$, А. Я. Хинчин доказал, что результирующая энтропия $H(X, Y)$ удовлетворяет условию

$$H(X; Y) \leq H(X) + H(Y). \quad (9)$$

Характеризуемое соотношением (9) взаимодействие, рассмотренное А. Я. Хинчиным в чисто математическом аспекте, приложимо и к случаям взаимодействия конкретных статистических материальных систем. Как показал А. Я. Хинчин, знак равенства в выражении (9) означает независимость множеств X и Y . С физической точки зрения независимость означает отсутствие взаимодействий (например, система находящаяся в магнитном поле, но не имеющая магнитных свойств). Во всех остальных случаях $H(X, Y)$ оказывается меньше, чем $H(X) + H(Y)$. Таким образом, соотношение (9) показывает, что энтропия уменьшается в результате взаимодействий статистических систем. Уменьшение энтропии эквивалентно росту неэнтропии, т. е. накоплению информации и увеличению степени упорядоченности системы, возникшей в результате взаимодействия двух исходных систем.

Многочисленные примеры из области термодинамики могут служить подтверждением тенденции к упорядочению движения и усложнению структуры в процессах взаимодействия физических систем. К числу таких процессов относятся: поляризация диэлектрика при взаимодействии с электрическим полем; переход теплового движения в упорядоченное движение кристаллической решетки при агрегатных превращениях

веществ; образование веществ, обладающих сложной структурой молекул, в результате взаимодействия простых веществ (например:



Сопоставление этих разнородных процессов позволяет установить у них одно общее свойство: **все они сопровождаются выделением тепла или аккумуляцией энергии внутренними связями.** До сих пор данное свойство устанавливалось опытным путем. Можно утверждать, что **необходимость выделения тепла обусловлена накоплением информации,** так как в соответствии со вторым началом термодинамики данное накопление должно быть компенсировано увеличением энтропии окружающей среды. В случае внутренней аккумуляции энергии прирост энтропии среды осуществляется за счет дополнительных внешних источников энергии.

К сожалению, еще невозможно производить количественную оценку негэнтропии для всех случаев взаимодействий. Тем не менее при изучении целого ряда процессов в рамках классической термодинамики косвенным образом этот учет осуществляется. Известно, например, эмпирическое правило Трутона, согласно которому при испарении большинства жидкостей происходит одинаковое увеличение энтропии. Исключение из этого правила составляют жидкости, обладающие ассоциированными или поляризованными молекулами. Предлагаемая точка зрения проливает свет на этот факт. При испарении жидкости с поляризованными молекулами помимо возрастания энтропии, обусловленного переходом теплового движения в более неупорядоченное движение молекул пара, происходит дополнительная потеря информации за счет исчезновения упорядоченности движения поляризованных молекул. Поэтому ΔH поляризованной жидкости больше ΔH Трутона.

Таким образом, упорядоченность движения в той или иной степени присуща различным материальным системам, и на всех этапах развития увеличение упорядоченности микродвижения приводило к усложнению структуры систем. «Одним из основных принципом жизни,— пишет А. Сент-Дьердьи,— является **«организация»**; мы понимаем под этим, что при объединении двух вещей рождается нечто новое, качества которого не аддитивны и не могут быть выражены через качества составляющих его компонент. Это относится ко всей гамме форм организации, к объединению электронов и ядер, образующих атом, к соединению атомов в молекулы, аминокислот в пептиды, пептидов в белки, белков и нуклеиновых кислот в нуклеопротеиды и т. д.».

Причиной тенденции к упорядочиванию является одно общее свойство материальных систем: *степень упорядоченности движения, существующего в той или иной системе, определяется влиянием этой системы на упорядоченность движения взаимодействующих с ней*

систем. Так, например, система, обладающая упорядоченной структурой кристалла, приобретает способность передавать «модели движения» молекулам жидкости, а живая клетка способна сохранять значительно более сложные «модели движения» в форме информации, имеющей определенный биологический код. **Такая система приобретает возможности управления, благодаря которому она может сохранять качественную определенность и целостность в изменяющихся условиях внешней среды.**

Наукой исследован целый ряд естественно протекающих сложных физико-химических процессов, **сопровождающихся накоплением информации и соответствующим увеличением упорядоченности движения элементов взаимодействующих систем.** Многие авторы рассматривают эти процессы как переходную ступень к тем сложным процессам самоорганизации, благодаря которым зарождается жизнь. К числу таких процессов относится, например, образование скоплений молекул органических веществ, упорядоченность которых регулируется гидрофильно-гидрофобной асимметрией каждой молекулы. В частности, наличие полярной группы и раздвоенного углеводородного «хвоста» у молекул липидов приводит к образованию сложноорганизованных слоистых (мембранных) структур. Другим примером могут служить процессы образования коацерватов, которые А. И. Опарин считает прообразом простейших одноклеточных структур, в которых зарождается жизнь.

Как показал М. Кальвин, упорядоченность движения, возникающая в подобных процессах, регулируется путем так называемого аутокатализа. При аутокатализе образующиеся в ходе цепной химической реакции вещества оказывают каталитическое стимулирующее воздействие на образование веществ в предыдущих звеньях этой цепи. **С информационной точки зрения аутокатализ есть не что иное, как регулирование по обратной связи (недаром это явление называют также и *обратным катализом* — *reflexive catalysis*).** Как установлено кибернетикой, **обратная связь является наиболее эффективным средством регулирования движения всех упорядоченных систем.**

Все рассмотренные нами примеры относятся к числу так называемых «антиэнтропийных» (или «негэнтропийных») процессов. В то же время второе начало термодинамики утверждает объективную необходимость возрастания энтропии как следствия равномерного распределения теплоты. Таким образом, развитие теории информации и появление меры, с помощью которой можно учитывать негэнтропию, со всей остротой ставит на повестку дня вопросы о том, как действует второе начало термодинамики в условиях взаимодействия энтропийных и негэнтропийных процессов.

Качественное отличие всех видов энергии от тепловой энергии обусловлено упорядоченностью движения, присущего электромагнитным, ядерным и гравитационным полям. Проявлением этой упорядоченности являются их волновые свойства, позволяющие априорно предугадывать характер движения, существующего в тот или иной момент времени в любой заданной точке пространства. Именно этими видами энергии обусловлено дальнейшее накопление информации в процессах концентрации материи, рассеянной в космосе, и включение ее в дальнейшие циклы развития (образование звезд и планет). Эти процессы являются «вещественными» аргументами против теории тепловой смерти Вселенной, основанной на рассмотрении свойств одной лишь тепловой энергии и процесса увеличения энтропии.

Отмеченное нами отличие тепловой энергии от всех других видов энергии нашло отражение еще в классической термодинамике и, в частности, в уравнении Гиббса— Гельмгольца:

$$\Delta U = \Delta F + T\Delta S,$$

где ΔU — полное приращение внутренней энергии физического тела; ΔF — приращение «свободной» энергии; $T\Delta S$ — приращение «связанной» энергии (приращение «связанной» энергии определяется произведением абсолютной температуры T на приращение физической энтропии ΔS , которая, в свою очередь, связана с рассматриваемой нами математической энтропией H соотношением $\Delta S = K\Delta H$, где K — постоянная Больцмана.) Теперь становится очевидным, что выявленная классической термодинамикой необходимость отдельного рассмотрения **двух форм внутренней энергии физических тел** является отражением энтропийно-информационных соотношений термодинамических процессов: так называемая свободная энергия есть не что иное, как «информированная» («векторизованная») часть внутренней энергии (энергия всех видов полей), а обусловленная хаотичным микродвижением «связанная» энергия — это «энтропийная» часть внутренней энергии физических тел и систем.

Классическая термодинамика исследует процессы превращения энтропийной тепловой энергии в **информированную (направленную) механическую энергию («полезную работу»)**, осуществляющиеся на макроскопическом уровне в специально созданных для этой цели тепловых машинах (цикл Карно). В природе аналогичные процессы превращения энтропийной энергии в **информированную энергию поля** осуществляются на микроскопическом уровне. Информированной энергией в этом случае является дискретная (квантованная) и упорядоченная во времени и в пространстве (колебательная) энергия излучений, возникающих всюду, где имеется

разность температур. Именно эта форма энергии (в частности, энергия излучений Солнца) является первоисточником всей информации, которую накапливает мир.

Информационные исследования описанных процессов несомненно позволят вскрыть более глубокую взаимосвязь механических и электродинамических свойств материи, корпускулярных и волновых свойств, законов взаимодействия и взаимных превращений элементарных частиц. Возникший и развивающийся благодаря теории информации новый взгляд на природу негэнтропийных процессов позволяет сделать обобщающий вывод о том, что **источником информации, вносящей упорядоченность, направленность в различные виды движения, является воздействие на это движение любых видов полей.** Так, например, в космогонических процессах эту роль выполняет гравитационное поле. Стоит лишь под действием сил инерции и гравитации из хаотически распыленных частиц возникнуть какому-то сгустку материи, как тут же он превращается в центр гравитационного притяжения, вносящий направленность и упорядоченность в движение всех расположенных в этом районе частиц. **Соотношением сил инерции и сил притяжения регулируются размеры образующихся таким образом космических тел.** Когда возникающий в космосе сгусток материи достигает определенной плотности, дальнейшая упорядоченность космического движения **регулируется действием ядерных полей.** Возникающие в плотных сгустках материи ядерные взрывы создают разность температур между космическими телами, а **разность температур или энергетических потенциалов,** как мы показали выше, является первопричиной упорядоченного движения (излучения) и всех последующих стадий развития любых материальных систем.

Можно предполагать, что наряду с законом всемирного тяготения в масштабах Вселенной действует также **закон всемирного равновесия,** суть которого заключается в том, что **обесценивание энергии (рост энтропии), обусловленное рассеиванием тепловой энергии, компенсируется накоплением информации (уменьшением энтропии), обусловленным концентрацией массы, осуществляющейся под действием гравитационных сил.**

(Мысль об ограничении роста энтропии действием гравитационного поля высказывалась Я. П. Терлецким).

«Закон всемирного равновесия» может быть противопоставлен теории тепловой смерти Вселенной, вытекающей из одностороннего рассмотрения свойств тепловой энергии и **не учитывающей упорядочивания космогонических процессов,** обусловленного действием **гравитационных и ядерных сил.** За счет взаимодействия

тепловой, гравитационной и ядерной энергии осуществляется замкнутый космогонический цикл, изображенный на рис. 2.



Рис.2.

В обозримые отрезки времени каждая локальная область Вселенной проходит одну из стадий цикла. Поскольку рассматриваемый цикл включает в себе две противоположные тенденции (рост энтропии и рост информации), есть основания предполагать, что в масштабах Вселенной энтропия сохраняется постоянной, удовлетворяя условию $dH(x, y, z, t) = 0$ при неограниченно возрастающих (стремящихся к бесконечности) значениях x, y, z и t .

Приведенный нами краткий обзор процессов возникновения упорядоченного движения показывает, что существуют общие закономерности, действующие на всех уровнях организации материальных систем. С появлением сознания процесс накопления информации перестает быть стихийным. На этой стадии возникает понятие цели, ради которой человек создает многообразные средства хранения, обработки и передачи информации. Научные теории и понятия, возникающие в процессе развития человеческой мысли, являются отраженными в нашем сознании «моделями движения» материальному миру.

6.2. Основы методологии информационного анализа систем (истин)

6.2.1. Информационный анализ некоторых систем (истин)

Возникнув на почве техники связи, теория информации на первом этапе была призвана решать целый ряд выдвинутой этой областью техники практических задач. С помощью теории информации удалось разработать методы построения оптимальных каналов связи, обеспечивающих передачу наибольшего количества информации при наличии помех, методы построения оптимальных кодов, уменьшения содержащейся в сообщениях избыточной информации и т. п. Совокупность этих проблем и методов их решения и составляет фундамент той теории, которую очевидно, можно назвать «классической», в отличие от «неклассической» теории информации, которая формируется в физике, биологии, психологии, лингвистике и других областях.

Основное внимание в дальнейшем изложении будет уделено использованию понятий и методов теории информации именно в «неклассических» областях, которые изучены и разработаны Е.А. Седовым. Однако при этом придется более подробно остановиться и на некоторых «классических» понятиях (например, на понятии «избыточности»), поскольку именно на базе «классической» теории информации возникли и начали развиваться приложения теоретико-информационных идей в упомянутых областях. Примером непосредственного переноса методов теории информации, используемых техникой связи, в область физиологии может служить оценка пропускной способности нервных каналов связи, обслуживающих зрение и слух. **С помощью специальных экспериментов установлено, что пропускная способность органов зрения составляет около 10^6 бит/сек, органов слуха — около 10^4 бит/сек. Проведенные с привлечением методов теории информации психологические опыты показали, что количество осознанно воспринимаемой информации не превышает 50 бит/сек. На языке «классической» теории информации данное свойство сознания может быть сформулировано так: пропускная способность каналов связи, в которых осуществляется осознанная обработка информации, не превышает 50 бит/сек. Приблизительная оценка информационной**

емкости головного мозга, произведенная на основе подсчета количества нервных клеток коры больших полушарий (нейронов), показала, что **мозг способен хранить количество информации, выражаемое числом порядка 10^{20} бит.**

Принципиально новым понятием, введенным теорией информации в современную науку, является понятие *избыточной информации*. К этому понятию нам придется неоднократно возвращаться в последующих разделах, поэтому для уяснения его сущности рассмотрим **предложенные теорией информации количественные критерии избыточности и способы ее уменьшения.**

Избыточной информацией является та информация, которую можно заранее предсказать. Важно подчеркнуть, что предсказания эти не являются, как правило, однозначными, а даются в вероятностной форме: для русского письменного языка вероятность того, что следующим сообщением будет буква «О», составляет 0,2, вероятность того, что после сочетания «ий» появится интервал, составляет 0,7 и т. п.

Возможность предсказания последующих сообщений (букв) при передаче текста обусловлена наличием корреляции (взаимосвязи) между буквами, слогами, словами. В свою очередь, корреляция является результатом действия грамматических и фонетических правил. Именно благодаря корреляции можно заранее предсказать, что в любом русском тексте сочетание «ться» будет появляться очень часто, что после сочетаний «ский» с вероятностью, равной 1 (т. е. с достоверностью), появится интервал, что вероятность сочетания «ткрп» равна нулю, и т. п.

Выявление избыточной информации является экспериментальной задачей, которая решается путем статистического анализа множества сообщений. Так, пока не были исследованы статистические свойства русских письменных текстов, получаемая от каждой принятой (прочитанной) буквы информация наряду с фактически получаемой новой, непредсказуемой информацией I_{Φ} включала в себя всю невыявленную избыточную информацию $I_{и}$ и составляла:

$$I_{\max} = I_{\Phi} + I_{и} = 5 \text{ бит.} \quad (1)$$

Эта величина определялась с помощью функции

$$\sum_i p_i \log p_i,$$

в которой символами p_i обозначались вероятности различных букв ($i = А, Б, \dots, Я$). При этом считалось, что $p_A = p_B = \dots = p_Y$. В соответствии со свойствами функции $\sum_i p_i \log p_i$ подсчитанная с помощью этой функции величина I является максимальной и составляет для 32-буквенного алфавита в среднем 5 бит на каждую букву. После

того как путем статистического анализа множества текстов были установлены реальные значения вероятностей что $p_A = p_B = \dots = p_Y$, подсчитанная с помощью той же функции $\sum_i p_i \log p_i$ величина I

снизилась до 4 бит. Это произошло потому, что входящая в выражение (1) избыточная информация $I_{\text{и}}$ при выявлении реальных значений что $p_A = p_B = \dots = p_Y$ *частично* (в среднем на 1 бит на букву) учтена.

Полное выявление входящей в выражение (1) избыточной информации — крайне сложная статистическая задача, требующая учета не только реальных значений что $p_A = p_B = \dots = p_Y$, но и взаимной корреляции между буквами, слогами, словами и фразами. Точное значение $I_{\text{и}}$ письменных текстов еще полностью не установлено. По приблизительным оценкам для русских письменных текстов $I_{\text{и}} = 4$ бита на букву. В соответствии с выражением (1):

$$I_{\Phi} = I_{\text{max}} - I_{\text{и}} = 1 \text{ бит на букву.}$$

В качестве количественного критерия избыточности теория информации предложила использовать коэффициент избыточности R , определяемый как:

$$R = 1 - \frac{I_{\Phi}}{I_{\text{max}}}. \quad (2)$$

Значению $I_{\Phi} = 1$ бит на букву соответствует $R = 0,8$. Это означает, что информация, содержащаяся в письменных текстах, приблизительно на 80% является избыточной, а потому в принципе предсказуемой путем предварительного учета статистических свойств языка.

Необходимость оценки величин $I_{\text{и}}$ и R была продиктована практическими нуждами техники связи, в которой избыточность сообщений оплачивается лишним временем загрузки каналов связи, лишним расходом мощности и т. п. **Для уменьшения этих непроизводительных расходов теорией информации были предложены специальные способы кодирования текстов, позволяющие в той или иной степени уменьшить избыточность передаваемых сообщений. Суть этих способов заключается в замене букв или буквенных сочетаний сериями импульсов, длительность или амплитуда которых тем меньше, чем больше вероятность появления соответствующих букв.** В результате такого кодирования резко уменьшаются энергия и время загрузки каналов связи, расходуемые на передачу часто повторяющихся слогов и букв (вопросы кодирования информации будут подробно рассмотрены отдельно в настоящей работе).

Аналогичные способы уменьшения избыточности применяются при передаче нетекстовых сообщений. Так, например, при передаче сведений о ходе каких-то процессов (изменения скорости, давления, температуры и

т. п.) для разгрузки каналов связи оказывается выгодным **осуществлять на приемном и передающем конце линии связи автоматическое предсказание (экстраполяцию) хода передаваемых кривых.** Тогда для **точной передачи данных оказывается достаточным передавать только выявленную на передающем конце разницу между предсказанной и реальной кривой.** Тем самым в значительной мере снижается количество информации, загружающей предназначенный для ее передачи канал.

На предсказаниях определенных свойств сообщений основан также способ, получивший название «укрупнение сигнала». Например, **вместо часто повторяющегося сочетания четырех букв «тъя» можно передавать один кодовый знак.** Точно так же заранее можно предвидеть, что в праздничных телеграммах будут часто встречаться слова «поздравляю с наступающим праздником», «желаю здоровья, счастья» и т. п. Заменой этих слов и их сочетаний условными кодовыми знаками удастся разгрузить каналы связи и снизить стоимость праздничных телеграмм. Сущность понятия «избыточности» сохраняется неизменной для любых видов информации, хотя форма и способы ее оценки зависят от характера сообщений. Так, например, в телевизионных сообщениях основную часть избыточной информации составляет передача неизменной части телевизионного кадра (например, декораций, на фоне которых происходит действие телеспектакля, и т. п.). Для устранения этой избыточности теория информации предложила осуществлять селекцию неподвижной части изображений и запоминание ее на приемном конце. Тем самым телевизионный канал связи разгружается от избыточной информации и может быть полнее использован для передачи только той информации, которую нельзя заранее предсказать (движения и мимика героев спектакля, события спортивного состязания и т. п.). **Данный способ уменьшения избыточности, так же как и все ранее упомянутые способы, основан на предсказании. Чтобы использовать этот способ, необходимо предсказать, что некоторые находящиеся в кадре предметы (пол, потолок, стены, шкаф и т. п.) в течение определенного времени передачи будут оставаться на прежних местах.**

При устранении избыточности сообщений необходимо проявлять осторожность. Теория информации показала, что избыточность сообщений может являться не только злом, но и добром. **Благодаря избыточности возрастает устойчивость сообщений к воздействиям всякого рода помех.** Это свойство можно проиллюстрировать множеством наглядных примеров. Пусть, например, по каналу связи принята такая последовательность букв: ТОМКОЕ.

Третья буква переданного слова исказилась из-за помехи. Однако ее значение нетрудно восстановить. Для этого достаточно дождаться появления следующего слова. Если оно окажется БОЛОТОМ, то первое слово следует читать как ТОПКОЕ. То же самое слово может быть прочтено и как ТОНКОЕ, если дальше речь идет, например, о сукне или стекле. Подобное восстановление смысла (которое, кстати сказать, часто осуществляется нами при чтении письменных, а особенно рукописных текстов) возможно **благодаря взаимной корреляции букв и слов.**

Вообразим искусственный, полностью лишенный избыточности язык. В таком языке *любая* комбинация букв представляет собой осмысленное слово, поэтому изменение одной буквы изменяет его смысл (в реальном языке только около 0,0001% всех возможных буквенных комбинаций образуют осмысленные слова). Тогда было бы почти невозможно выявить опечатки и восстановить первоначальный подлинный текст.

Самым простым и очевидным способом повышения помехоустойчивости сообщений путем увеличения их избыточности является многократное повторение фраз или слов. Этот прием часто используется и в специальных каналах связи, и в обиходной речи при наличии посторонних шумов.

Далее рассмотрим вопрос о том, каким образом методы теории информации, разработанные для нужд техники связи, преломляются и используются в других научных областях.

Тесная связь теории информации с лингвистикой представляется вполне очевидной. **Текст** — это одна из наиболее универсальных, а потому и наиболее распространенных форм передачи информации, поэтому задачи создания оптимальных систем передачи сообщений в значительной мере определяются успехами в области статистических исследований языка. В свою очередь, взгляд на язык как на регламентированную определенными правилами стохастическую систему оказывается весьма плодотворным не только для техники связи, но и для самой науки о языке. В настоящее время существуют целые научные школы, базирующиеся на системном подходе к анализу языка.

Сравнительный статистический анализ различных языков породил принципиально новое понятие о **макроструктуре языка**. Оказалось, что, несмотря на множество частных различий в **микроструктуре**, обусловленных действием конкретных грамматических и фонетических правил разных языков, более обобщенные статистические характеристики языков (кривые распределения вероятностей, моменты распределений, корреляционные характеристики и т. п.) весьма сходны между собой. В этом проявляется действие и общность законов более высоких порядков,

относящихся к человеку вообще и не зависящих от национальной принадлежности и особенностей конкретного языка. **Это касается в первую очередь общих закономерностей, присущих процессам мышления, связям между мышлением и речедвигательными органами и, наконец, законам отражения окружающей действительности сначала в мысли, а затем в языке.**

На базе статистического подхода к изучению языковой структуры возникло направление исследований, связанное с построением *моделей языка*. Такие модели строятся на основе определенных формализованных правил (алгоритмов). Они не несут никакой смысловой информации, но сохраняют все формальные признаки реального языка. Эти модели помогают, с одной стороны, более глубоко осознать свойства реальных языков, а с другой — найти пути построения оптимальных искусственных языков, необходимых, в частности, для эффективного использования электронных машин.

Весьма интересны результаты применения методов теории информации в психологии. Так же как и в лингвистике, информационно-статистический анализ в области психологии позволяет перейти от качественных оценок к количественным измерениям и способствует выявлению самых общих закономерностей и свойств. Многие из проведенных психологических исследований посвящены особенностям восприятия, обработки и запоминания информации человеком. Результаты этих исследований представляют большой интерес как для психологов, так и для инженеров, поскольку они, с одной стороны, углубляют научные представления о психологии восприятия, а с другой — открывают возможности создания более совершенных технических устройств. Вполне естественно, что как в том, так и в другом случае основой сравнительных оценок получаемых экспериментальных данных является введенная теорией информации количественная мера. Среди достигнутых в данной области результатов наиболее важными следует считать психологические эксперименты, проведенные В. Хиком и Р. Хайменом. Эти опыты показали, что длительность психологической реакции на внешние сигналы пропорциональна количеству информации, содержащейся в этих сигналах. При этом была экспериментально подтверждена правомочность определения информации как «меры неожиданности» получаемых сообщений, введенного ранее теорией информации на основе общих соображений.

Эксперименты, о которых идет речь, заключались в следующем. Перед испытуемым размещалось световое табло, на котором поочередно загорались чередующиеся в случайном порядке разноцветные сигналы. Задача испытуемого состояла в том, чтобы нажимать одну из N клавиш после того, как появился некоторый сигнал (клавиши и цветовые сигналы

находятся во взаимно-однозначном соответствии). В простейшем случае задавалось равномерное распределение сигналов. При этом длительность поисков нужных клавиш возрастала пропорционально $\log N$. Как отмечалось выше, в таком же соотношении при равномерном распределении увеличивается и количество информации (в соответствии с формулой Хартли или с формулой Шеннона при одинаковых p_i).

Данная зависимость длительности психологических реакций от числа равномерных стимулов была установлена Д. Меркелем еще в конце XIX века. После появления количественной меры информации возникло естественное желание связать длительность психологических реакций с количеством информации, содержащейся в стимулирующих сигналах. Именно эта задача была решена в упомянутых экспериментах В. Хика (для равномерного распределения) и Р. Хаймена (для различных распределений вероятностей p_i). Во всех случаях длительность психологических реакций испытуемого определялась количеством получаемой информации в соответствии с формулой

$$T = AI = -A \sum_i p_i \log p_i.$$

Например, длительность реакции уменьшалась в том случае, когда один из сигналов (допустим, красный) возникал намного чаще других. Объясняется это тем, что в ходе эксперимента испытуемый «привыкает» к появлению красного цвета и к нажатию на соответствующую ему клавишу. Сигнал красного цвета перестает быть «неожиданным», испытуемый заранее готов правильно на него реагировать. Правда, вероятность возникновения остальных сигналов при этом сокращается, и сигналы особенно неожиданные (в силу малой их вероятности) могут задерживать реакцию испытуемого на продолжительный срок. Но поскольку такие сигналы редки, затраченное на них время будет невелико. **В целом время реакции на сигналы с неравномерным распределением вероятностей будет меньше, чем в случае равномерного появления тех же сигналов.** В том же соотношении уменьшается и количество получаемой испытуемым информации, которая в данном случае характеризует *усредненную по времени неожиданность* стимулирующих сигналов. При равномерном распределении все сигналы в равной степени неожиданны. При различных значениях вероятностей количество информации уменьшается ввиду того, что некоторые сигналы можно заранее ожидать. Следует подчеркнуть, что установленная таким образом зависимость длительности психологических реакций от количества информации, содержащейся в стимулирующих сигналах, представляет собой не

зависящую от воли испытуемого объективную закономерность. Трудно переоценить значение и плодотворное влияние идей теории информации в развитии самых разнообразных научных областей. Не случайно одно из самых знаменательных научных событий прошлого столетия — расшифровка наследственного генетического кода — совпало по времени с периодом бурного развития теории информации. Ключом к расшифровке генетического кода послужила простая идея о том, что для образования из четырех имеющихся «букв» (т. е. четырех различных нуклеотидов) двадцати «слов», соответствующих двадцати входящим в состав белков аминокислотам, каждое «слово» должно состоять минимум из трех букв. **Эксперименты подтвердили это предположение, показав, что для передачи наследственной информации природа и в самом деле использует четвертичный трехзначный код.** При таком коде число возможных «слов» (комбинаций из четырех «букв» алфавита по три «буквы» в «слове») составляет $N_1 = 4^3 = 64$. Этот «словарь» обладает некоторой избыточностью, поскольку программы включения 20 аминокислот в процессы синтеза обходятся всего 22 «словами» из возможных шестидесяти четырех (в число 22 помимо кодов двадцати аминокислот входят команды начала и окончания считывания матрицы). Но лучше избыточность, чем недостаток: при переходе от трехзначного к двузначному четвертичному коду «слов» оказалось бы меньше, чем необходимо ($N_2 = 4^2 = 16 < 22$). Именно так рассуждал Г. Гамов, впервые выдвинувший гипотезу о принципах построения генетического кода, которую несколько лет спустя экспериментально подтвердил М. Ниренберг.

Нельзя утверждать, что не будь теории информации, не было бы и этих, в сущности довольно простых, рассуждений (до появления теории информации подобные задачи решались комбинаторикой). Однако и рассуждения эти родились не на голом месте, а на глубоко вспаханной и щедро удобренной почве общих информационных идей. Важна была убежденность в том, что самой простой азбуки достаточно для передачи потомкам тех наследственных «наставлений», согласно которым живет и развивается сложнейший живой организм. Теория информации и кибернетика породили эту научную убежденность. Благодаря им таинственный ген перестал быть магическим необъяснимым термином, а превратился в материальную субстанцию, в объект исследований, содержащий в себе пусть сложный, но поддающийся расшифровке наследственный код. Именно этот информационный подход служил нитью Ариадны, которая вела генетиков и биохимиков сквозь лабиринт гипотез и экспериментов к конечной цели — расшифровке двадцати, пожалуй, самых важных в мире «слов». Путем

огромного количества досконально продуманных и с чрезвычайной тщательностью выполненных экспериментов удалось установить, какой именно последовательности из трех нуклеотидов ДНК соответствует включение в процесс синтеза каждой из 20 участвующих в синтезе аминокислот.

Проделанный А.Е. Седовым настоящий краткий обзор приложений теории информации в различных областях науки далеко не исчерпывает всех порожденных этой теорией новых идей. Здесь были рассмотрены лишь главные достижения науки, которым в последующем поступательном движении науки предстоит сыграть наиболее важную роль. Дальнейшее развитие «классической» теории информации и ее «неклассических» приложений безусловно должно принести еще немало самых разных, в том числе и неожиданных, плодов. Вместе с тем развитие теории информации не следует представлять себе как некое триумфальное шествие по гладкой дороге одних лишь побед и почестей.

Имеющийся опыт конкретных информационно-исследовательских работ уже позволил выявить многие методологические трудности и выдвинул ряд новых, пока еще не решенных задач. **Трудности многих количественных информационных оценок конкретных объектов связаны со сложностью учета количества информации на всех уровнях организации исследуемых систем.** В качестве примера можно привести попытки расчета количества информации в живых организмах с целью оценки степени их усложнения в процессе развития от оплодотворенной яйцеклетки (зиготы) до стадии взрослой особи. При оценке результатов, достигнутых авторами подобных работ, можно вполне согласиться с утверждением М. Аптера о несовершенстве проведенных расчетов: в них налицо произвольность выбора молекулярного уровня, не учтены взаимосвязи между молекулами, группами атомов в хромосомах и т. д.

Тем не менее, саму тенденцию разработки количественных методов в биологии и привлечения меры количества информации для анализа биологических процессов следует безусловно приветствовать, невзирая на вполне понятную неуверенность первых шагов в этом направлении. В этой связи следует заметить, что существующий аппарат теории информации пригоден в принципе для оценки количества информации лишь на нескольких заданных структурных уровнях статистических систем. Так, например, при оценке избыточности письменных текстов учитывается статистическая связь между буквами внутри слова или на «стыках» слов (т. е. правила грамматических согласований и образований фонем). Затем переходят на связи более высоких структурных уровней языка: связь между фразами, между понятиями, определяемыми с помощью многих фраз, и т. д. **Для подобных оценок**

непригодна принятая теорией информации количественная мера игнорирующая при оценках количества информации содержащиеся в ней ценность и смысл. На первом этапе становления теории информации такой подход был вполне оправданным: именно благодаря абстрагированию от конкретных свойств информации, ее ценности, смысла науке удалось ввести единую меру количества информации, сделать решающий шаг в исследовании энтропийно-информационных процессов, подобно тому как абстрагирование от конкретных свойств механического движение (неизбежности трения) в свое время позволило Галилею сделать в изучении общих законов механики столь же решающий шаг.

Вполне естественно, что главной задачей следующего этапа развития теории информации является переход от обобщающих определений информации к разграничению ее видов и свойств. Точно так же обобщение понятия «энергия» не избавляет науку от необходимости подробных исследований различия ее форм. Именно эту задачу пытаются решать теории семантической и прагматической информации. Первая из названных теорий стремится решить проблему количественной оценки информации с учетом ее смысла, а вторая — с учетом ценности. Применение аппарата этих теорий к анализу процессов развития на различных структурных уровнях, по-видимому, позволит со временем решить ряд немаловажных проблем. Другой методологической трудностью, ограничивающей применение теории информации в исследованиях процессов развития, происходящих в конкретных системах, является отсутствие совершенного математического аппарата, который позволял бы производить количественную оценку приращения информации при взаимодействиях систем (в частности, при взаимодействии системы с внешней средой).

Упомянутая ранее теорема Хинчина говорит лишь о том, что в процессе взаимодействий происходит приращение информации, равное отрицательному приращению энтропии и определяемое как:

$$\Delta I = -\Delta H = H(X; Y) - H(X) - H(Y),$$

где $H(X)$ и $H(Y)$ — значения энтропии множеств X , Y до их взаимодействия, а $H(X; Y)$ — значение энтропии системы, возникшей в результате взаимодействия исходных систем.

Методологические трудности исследований процессов развития обусловлены тем, что на сегодняшний день разработан недостаточный аппарат, позволяющий определять ΔH для конкретных случаев взаимодействий. На первом этапе развития теория информации и не ставила перед собой подобной задачи, поскольку она рассматривала только каналы связи, в которых количество информации никогда не

возрастает, а может лишь уменьшаться за счет воздействия помех. Именно это обстоятельство послужило поводом для скептических выводов некоторых ученых, в частности высказывания К. Уоддингтона о том, что при анализе процессов биологического развития «теория информации как таковая бесполезна..., хотя слово «информация»... с успехом заменяет такие выражения, как «количество разнообразия» и «специфичность».

Рассмотренные нами в предыдущих разделах примеры опровергают этот взгляд. Они показывают, что ряд немаловажных заключений относительно общих свойств процессов развития позволяет сделать именно информационный подход.

От этого подхода можно ожидать гораздо больших успехов; если сегодня теория информации «как таковая» не разработала совершенного аппарата, позволяющего учитывать прирост информации в процессах развития, то завтра она его создаст. **Дальнейшим шагом будет разработка методов количественной оценки уменьшения энтропии (и соответствующего увеличения количества информации) в процессах взаимодействия и развития конкретных материальных систем на различных структурных уровнях их организации.**

Оценивая влияние теории информации на развитие физики, следует прежде всего отметить углубление представлений о сущности энтропии. Этот вопрос был рассмотрен подробно ранее. К сказанному следует лишь добавить, что появились работы, в которых делаются небезуспешные попытки **новой трактовки термодинамики на основе теории информации**. Фундаментальное значение для внедрения идей теории информации в физику имеет работа Д. С. Лебедева и Л. Б. Левитина, посвященная **оценке информационного содержания квантов энергии электромагнитного поля**. Проведенный в этой работе анализ является подтверждением и дальнейшим развитием высказанной ранее в общем виде Е.А Седовым идеи о том, что **процесс излучения — это процесс превращения неупорядоченной, «энтропийной» тепловой энергии в «информационную» энергию электромагнитного поля.** Тем самым подтверждается еще и тот факт, что ***первопричина феномена информации в природе — порождающая излучения разница температур (иными словами: разница температур порождает излучение).***

Вопрос о влиянии теории информации на развитие физики не ограничивается рассмотрением новых методов решения тех или иных более или менее частных проблем. Благодаря внедрению теории информации в физику само слово «физика» снова приобретает некогда вложенный в него чрезвычайно широкий смысл. В переводе с греческого «физика» — это «природоведение». На первом этапе развития физика и в самом деле включала в себя начала целого ряда ставших затем полностью

самостоятельными естественных наук. **В недрах молодой физики зародились и химия, и астрономия, и целый ряд других отраслей «природоведения», выросших со временем в целые самостоятельные области знаний.**

Однако в диалектическом процессе развития научной мысли тенденция к дифференцированию и специализации наук необходимо должна сочетаться с противоположной тенденцией интеграции научных представлений и знаний. Проявлением именно этой тенденции было рождение теории информации, которая с полным правом вторглась и в физические, и в химические, и в астрономические проблемы, оперируя заново переосмысленным всеобъемлющим физическим понятием «энтропии».

Мало этого. Слияние методов физики и теории информации включает в сферу деятельности новой «физики-природоведения» и решение физиологических и психологических проблем. Именно такой путь развития физики предрекал в свое время один из выдающихся ее представителей Вернер Гейзенберг. В 1948 г., когда теория информации была еще в колыбели, в лекции, прочитанной студентам Цюрихской высшей школы, он сказал: «Допускаем ли мы, что кроме атомов существует нечто другое, например душа, или современное атомное учение тоже должно утверждать (подобно Демокрит), что существуют только атомы и пустота?». «Если мы намереваемся описать процессы жизни или духовные процессы, то нам необходимо расширить математический аппарат. Вполне возможно, что это будет сделано путем введения, наряду с прежними, еще и других понятий, которые можно было бы без противоречий с ними связать».

«Другим понятием», объединившим атомные, биологические и даже духовные процессы, как раз и является, по нашему мнению, понятие «информации», которое вводится с помощью статистической количественной меры. Именно поэтому среди всех существующих и развивающихся в настоящее время направлений научных исследований теория информации ближе всего подошла к решению важнейшей научной задачи: «...Исследовать и исследовать, каким образом связывается материя, якобы не ощущающая вовсе, с материей, из тех же атомов (или электронов) составленной и в то же время обладающей ясно выраженной способностью ощущения». Как будет показано ниже, в основу этих исследований может быть положено изучение общих закономерностей эволюционных (развивающихся) процессов, выражающихся в диалектическом переходе случайных связей в связи детерминированные и находящих свое отражение в свойствах функции $\sum_i p_i \log p_i$.

6.2. 2. Объективная упорядоченность статистической системы и информация, извлеченная из ее наблюдений

Проведенный в предыдущем разделе анализ показывает, что используемая для количественных оценок энтропии и информации функция

$$\sum_i p_i \log p_i$$

является **вероятностной мерой более высокого порядка сложности, нежели вероятность**. Поэтому можно считать вполне закономерным тот факт, что процесс «осознания» этой введенной в науку Л. Больцманом и использованной в новом качестве К. Шенноном меры в значительной степени повторяет эволюцию взглядов на само понятие вероятности. Долгое время вероятность считалась **субъективной мерой неполноты сведений об исследуемых явлениях**; лишь постепенно стал осознаваться ее объективный смысл. Аналогичную трансформацию претерпело понятие **количества информации, превратившись из субъективной «меры неведения» в объективную меру неравномерности распределения энергии и упорядоченности статистического движения элементов систем.**

Совмещение двух разных аспектов (субъективного и объективного) в едином понятии «информация» послужило причиной противоречивых интерпретаций информации и энтропии. Так, например, Л. Бриллюэн предложил новое определение энтропии как «меры недостатка информации о действительной структуре системы». Противоречивость такого толкования энтропии представляется нам очевидной: объективная характеристика системы, каковой является энтропия, ставится в зависимость от такого субъективного фактора, как степень осведомленности наблюдателя, исследующего эту систему.

Не менее определенно высказался по этому поводу Д. Пирс: **«Как только наблюдатель выявил что-нибудь в физической системе, так энтропия системы снизилась, ибо для наблюдателя система стала менее неупорядоченной»**. Пытаясь развить эту концепцию, Я. П. Терлецкий приходит к следующему выводу: «Энтропия, как и всякая величина, определяемая статистически через вероятности, имеет относительный характер. Нельзя спрашивать: «Какова энтропия этой системы?», не оговаривая одновременно тех сведений, которые у нас имеются об этой системе. Если нам априори известно, что система находится в равновесном состоянии, то, интересуясь ее энтропией, мы

имеем в виду ее **равновесную энтропию**. Если же о системе у нас имеются дополнительные сведения, то можно интересоваться неравновесной энтропией системы, при этом существенно то, что потеря (забывание) этих сведений или просто их игнорирование приводит к иному (равновесному) значению энтропии. И в этом нет ничего удивительного, так как вообще в теории вероятностей вероятности мгновенно переоцениваются, как только мы пожелаем использовать дополнительные сведения, полученные из наблюдений». Приведенные утверждения Я. П. Терлецкого не вызвали бы возражений, если бы речь шла не об объективном значении энтропии, а лишь о наших оценках, безусловно зависящих от имеющихся у нас сведений о системе. В самом деле, как мы уже убедились, наши оценки энтропии зависят от наших априорных сведений, и если заранее ничего не известно, мы вынуждены считать, что все вероятности одинаковы и потому энтропия равна максимальной величине. Однако помимо наших расчетов существует не зависящее от них положение вещей; **фактическое значение энтропии материальных систем есть частица объективной истины — один из физических параметров, не зависящих от нас.**

Между тем Я. П. Терлецкий не усматривает никакой разницы между энтропией расчетной (разумеется, зависящей от нашей осведомленности) и энтропией «фактической» (которой до нашей осведомленности и наших расчетов никакого дела, разумеется, нет). Вывод, к которому приходит этот автор, формулируется им так: «Это скачкообразное изменение таких, казалось бы, чисто физических величин, как энтропия, только в результате изменения нашего желания использовать дополнительные сведения происходит вследствие того, что любая статистическая теория есть лишь особый, вероятностный способ познания объективных закономерностей природы, т. е. особый статистический способ отражения в нашем сознании возможных объективных, протекающих независимо от нашего сознания физических процессов».

Вывод малоутешительный. Что толку от этого «особого способа познания», «особого способа отражения в нашем сознании объективных... физических процессов», если в результате их применения такой важный физический параметр, как энтропия, перестает быть объективной величиной? При такой трактовке все встает «с ног на голову»: теперь уже не объект дает наблюдателю сведения о своей энтропии, а наблюдатель по собственному усмотрению «оделяет энтропией» объект.

Взгляды Л. Бриллюэна, Д. Пирса и Я. П. Терлецкого имеют один общий исток. Все названные авторы исходят из того, что **информация неразрывно связана с энтропией**. И в этом все трое безусловно правы.

Однако одновременно с этим все они находятся в плену традиционного обиходного, а потому существенно суженного представления об информации как о сведениях, которыми располагает некоторый субъект. А раз энтропия связана с информацией, а информация — это осведомленность того или иного субъекта, значит, и энтропия находится в связи со сведениями, которыми располагает или которые получает субъект. Таким образом, сужение понятия «информация» до «традиционного» толкования информации как меры приобретенных кем-то знаний в конечном счете приводит к описанному методологически неубедительному толкованию физической энтропии.

Однако развитие теории информации и ее многочисленных приложений показало, что информация является не только «мерой неведения», «мерой неожиданности» или каких-либо других чисто субъективных свойства. Как было показано нами ранее, *информация является еще и мерой упорядоченности движения, происходящего в объективно протекающих процессах.* Стоит лишь взять за основу данное понимание информации, и физическая энтропия перестает зависеть от наших желаний и знаний, а связь энтропии и информации приобретает не зависящий от субъекта, вполне объективный смысл. При этом и самого субъекта, изучающего энтропию какой-то системы, нужно рассматривать как систему. От полученной при наблюдениях информации в самом деле *уменьшается энтропия,* по не *энтропия объекта исследований, а энтропия представлений о нем.*

Первые попытки разграничения объективного и субъективного аспектов энтропийно-информационных соотношений были предприняты Б.В. Бирюковым, А.Д. Урсулом, В.М. Глушковым, Е.А. Седовым. По мере дальнейшего развития теории информации и внедрения ее методов в различные области науки разграничение объективного и субъективного аспектов информации перестает быть вопросом абстрактной теории и превращается в практический вопрос. Подтверждением этого может служить следующее высказывание У. Филдса и У. Эббота о затруднениях, возникающих при попытках количественной оценки информации биологических систем: «Было введено представление о меняющемся объеме информации, причем количество информации, полученной в результате наблюдений (ΔI_n), было определено как величина, обратная дисперсии результатов. На первый взгляд это представление противоречит идее о высокой информационной ценности маловероятных данных. Однако это вовсе не так, потому что при подсчете полного количества информации, полученной при наблюдениях, результаты которых описываются кривой распределения с острым пиком, всегда учитываются и лежащие в крайних точках кривой маловероятные наблюдения,

имеющие высокую информационную ценность».

Данное утверждение содержит по меньшей мере две принципиальные неточности:

1. Если под «полным количеством информации» понимать энтропию всех сообщений о результатах исследования системы, то энтропия (т. е. полное количество информации) действительно будет уменьшаться по мере уменьшения дисперсии кривой распределения вероятностей, получаемых при наблюдении данных. Так, например, в случае нормального закона распределения вероятностей уменьшение энтропии (которая согласно приведенной выше формулировке У. Филдса и У. Эббота и является полным количеством информации ΔI_H) при уменьшении дисперсии от величины σ_1 до величины σ_2 согласно выражению (4), рассмотренному в п.б.1.4., определится как:

$$\Delta I_H = -\Delta H = \ln \sigma_1 / \sigma_2 \quad (\text{при } \sigma_1 > \sigma_2).$$

Следовательно, несмотря на наличие «маловероятных наблюдений, имеющих высокую информационную ценность», определяемое таким образом полное количество информации для кривой вероятностей «с острым пиком» (т. е. с малой дисперсией) будет меньше, чем для плавной кривой.

2. Исходя из приведенных рассуждений У. Филдса и У. Эббота, можно прийти к следующему парадоксальному выводу: наибольшую информационную ценность для наблюдателя представляет не установление главных закономерностей, присущих объекту, которым соответствует «пик» вероятностного распределения, а случайные отклонения, «лежащие в крайних точках кривой». Как будет показано ниже, парадокс этот возник оттого, что правильно интуитивно найденная обратно пропорциональная зависимость количества информации от дисперсии результатов получила в этом рассуждении ошибочную трактовку.

Исходным моментом отмеченных противоречий является нечеткое разграничение двух аспектов в оценке количества информации в процессе наблюдений статистических систем. ***Дело в том, что в процессе наблюдений взаимодействуют два вида информации: информация, объективно существующая в наблюдаемой системе (упорядоченность ее структуры), и информация, которую получает в процессе исследований наблюдающий систему субъект.***

Взаимосвязь количества информации, объективно сохраняемой данной системой, с количеством информации, получаемой при ее наблюдении, была впервые исследована Е.А.Седовым. Покажем, что, опираясь на основные выводы работы Е.А.Седова, можно устранить противоречия, содержащиеся в приведенных выше высказываниях У. Филдса и У.

Эббота, уточнив тем самым методологию применения количественной меры информации в исследованиях биологических систем.

Согласно результатам работы Е.А.Седова количество информации, определяемой как избыточная (с точки зрения эффективного использования пропускной способности информационных каналов), одновременно является объективной мерой упорядоченности движения элементов и структурной целостности систем. В самом деле, избыточностью текста, составляющей в среднем около четырех бит на букву, оплачивается грамматическая и фонетическая целостность языка. Ту же самую мысль выказывал Г. Ферстер, предлагавший использовать ***коэффициент избыточности в качестве меры организованности систем.***

До тех пор пока в результате статистических исследований системы не выявлено полное количественно содержащейся в ней избыточной информации $I_{и}$, это количество характеризует максимальную *неопределенность представлений* наблюдателя об упорядоченности данной системы $H_{н \max}$. Таким образом:

$$H_{н \max} = I_{и}. \quad (1)$$

Так, например, до тех пор пока на основе исследований множества русских текстов не было установлено, что

$$p_A = 0,075; \quad p_B = 0,017; \quad p_V = 0,046 \text{ и т. д.},$$

считалось, что усредненная неопределенность появления каждой буквы составляет:

$$H_{\max} = - \sum_{i=1}^{i=32} \frac{1}{32} \log_2 \frac{1}{32} = 5 \text{ бит} \quad (2)$$

(при этом принималось $p_A = p_B = \dots = p_Y = \frac{1}{N}; N=32$). Потом оказалось, что около четырех бит (из пяти) предсказуемы; следовательно, неопределенность представлений наблюдателя, составлявшая в начале исследований $H_{н \max}=4$ бита на букву, в результате проведенных статистических исследований была устранена. Другими словами, 4 бита на букву — это та информация об упорядоченной статистической структуре системы, которая была приобретена в результате исследований статистических свойств языка (эту приобретенную в результате статистических исследований информацию мы в дальнейшем будем называть «**информацией наблюдений**» и обозначать через ΔI_n (см., например, соотношения (3), (4) и т. д.).

Оставшийся 1 бит на букву — это непредсказуемая информация, обусловленная объективной стохастичностью языка (H_0).

Таким образом, величина

$$H_0 = H_{\max} - H_{n \max}$$

является *количественной мерой объективных стохастических свойств.*

Из всего сказанного следует, что количество информации, получаемой в процессе наблюдений, зависит как от фактической неопределенности (объективной стохастичности) наблюдаемой системы H_0 , так и от неопределенности исходных представлений о статистических свойствах системы H_n . Поскольку в процессе наблюдений получаемая информация I_n уменьшается вместе с уменьшением неопределенности представлений наблюдателя H_n , I_n и H_n естественно считать функциями времени (t). Благодаря свойству аддитивности информации и энтропии связь между $I_n(t)$, $H_n(t)$ и H_0 будет выражаться простым соотношением

$$I_n(t) = H_0 + H_n(t). \quad (3)$$

Если в начальный момент наблюдений t_0 отсутствуют какие-либо предварительные сведения о статистических свойствах исследуемой системы, то все исходы имеют для наблюдателя равную вероятность, поэтому:

$$I_n(t_0) = H_{\max} = H_0 + H_{n \max}(t_0). \quad (4)$$

Примером ситуации, соответствующей условию (4), может служить начальная стадия информационно-статистического анализа письменных текстов, когда реальные вероятности появления различных букв были еще не известны. Появление каждой из 32 букв алфавита имело для наблюдателя равную вероятность и несло количество информации $I_n(t_0) = H_{\max}$, причем H_{\max} определяется выражением (2).

По мере получения, в процессе наблюдений, статистических данных субъективная неопределенность представлений наблюдателя $H_n(t)$ уменьшается, стремясь в пределе к нулю. Согласно выражению (3) условию $H_n(t) \rightarrow 0$ соответствует условие $I_n(t) \rightarrow H_0$ (здесь и далее знак \rightarrow означает, что значения соответствующей функции стремятся к некоторому пределу (или бесконечности)).

Обозначив через t_k конечный момент наблюдений, в который полностью устранена первоначальная неопределенность представлений наблюдателя о статистических свойствах системы, можно записать: $I_n(t_k) = H_0$. Процесс перехода от $I_n(t_0) = H_{\max}$ к $I_n(t_k) = H_0$ может быть проиллюстрирован тем же примером статистических исследований письменных текстов. После того как в результате статистического анализа множества текстов были установлены фактические значения вероятностей появления всех букв, количество информации $I_n(t_1)$, получаемой наблюдателем при появлении каждой буквы, уменьшилось и стало составлять не 5 бит, а около четырех. Произошло это за счет того,

что входящая и выражение (3) субъективная неопределенность представлений о статистических свойствах текстов $I_n(t_1)$ в результате установления реальных значений вероятностей p_A, p_B, \dots, p_J была частично устранена (уменьшилась примерно на 1 бит). Дальнейший статистический анализ текстов позволил учесть взаимную корреляцию букв в пределах четырехбуквенных сочетаний. При этом произошло дальнейшее уменьшение неопределенности представлений до $H_n(t_2)$, и величина $I_n(t_2)$ стала составлять около трех бит на букву.

Приблизительная оценка корреляции между всеми буквами и словами письменных текстов показала, что при полном учете корреляции (т. е. при полном устранении неопределенности представлений наблюдателя H_n)

$$I_n(t_R) = H_0 \cong 1 \text{ бит на букву.}$$

Таким образом, после устранения неопределенности представлений $H_n(t_k)$ количество информации, получаемой в процессе дальнейшего наблюдения, соответствует объективной стохастичности исследуемой системы H_0 . Поскольку объективная стохастичность наблюдателю уже известна, количество *новых* сведений, получаемых при дальнейших наблюдениях, будет равно нулю. Данную ситуацию можно описать так:

$$I_n(t_R) = I(t_{R+j}); \quad \Delta I_n(t_{R+j} - t_R) = 0,$$

где $j = 1, 2, 3, \dots$

Так, например, фиксация и статистический учет скоростей огромного количества молекул газа, помещенного в замкнутый объем, с постоянным давлением и температурой, не дает наблюдателю никакой дополнительной информации, ввиду того что полученная им статистическая кривая совпадает с кривой Максвелла (предполагается, что кривая Максвелла с полной достоверностью отражает объективную закономерность и что она была известна еще до начала наблюдений).

Таким образом, количество информации, получаемой наблюдателем, зависит в конечном счете от неопределенности его первоначальных представлений о характере наблюдаемого явления, т.е.

$$\Delta I_{n \max}(t_R - t_0) = I_n(t_0) - I_n(t_R) = H_{\max} - H_0 = H_{n \max}. \quad (5)$$

С другой стороны, *разность* $H_{\max} - H_0$ может служить *статистической мерой* существующего в наблюдаемой системе *порядка* (H_n). Этот порядок определяется количеством объективно существующей информации I_0 , сохраняемой данной системой:

$$I_0 = H_n = H_{\max} - H_0. \quad (6)$$

Сопоставляя (5) и (6), получаем:

$$\Delta I_{n \max}(t_R - t_0) = H_n = I_0. \quad (7)$$

Полученное соотношение говорит о том, что *предельное количество*

информации, которое может быть получено в результате статистических исследований той или иной системы, равно количеству информации, сохраняемой данной системой.

Если система не обладает объективной упорядоченностью движения (т. е. не сохраняет информации), первоначальное представление о системе (т. е. предположение о том, что $p_1 = p_2 = \dots p_N$) совпадает с объективной неопределенностью системы. В этом случае в выражении (3) $H_{\text{н}}(t_0)=0$, поэтому

$$I_{\text{н}}(t_0) = H_0 = H_{\text{max}}, \quad (8)$$

т. е. количество информации, получаемой на начальной стадии наблюдений t_0 , соответствует объективной неопределенности системы и в процессе последующих наблюдений сохраняется неизменным:

$$I_{\text{н}}(t_0) = I_{\text{н}}(t_k) = H_{\text{max}} = H_0. \quad (9)$$

Наглядной иллюстрацией **взаимосвязи объективного состояния системы и информации, получаемой при ее наблюдении**, может служить процесс растворения, работа которого выражается известным соотношением:

$$W = KT \ln \frac{C_0}{C}, \quad (10)$$

где C — концентрация растворяемого вещества, C_0 — равновесная концентрация, соответствующая насыщению раствора, T — температура, K — постоянная Больцмана. Направленная энергия W связана с негэнтропией соотношением:

$$\Delta \bar{S} = K \Delta \bar{H} = \frac{W}{T}. \quad (11)$$

Сопоставляя (10) и (11), получаем:

$$\Delta \bar{H} = \ln \frac{C_0}{C}. \quad (12)$$

Таким образом, негэнтропия $\Delta \bar{H}$, существующая в системе «раствор — вещество», определяется направленностью (упорядоченностью) движения, т. е. вероятностью перехода из твердой фазы в раствор, возрастающей по мере отклонения от равновесия, т. е. с ростом $\frac{C_0}{C}$. При достижении равновесного состояния $C = C_0$ и, следовательно,

$$\ln \frac{C_0}{C} = 0 \text{ и } \Delta \bar{H} = 0.$$

Очевидно, что в таком состоянии система, с одной стороны, не обладает объективной направленностью движения, а с другой — не дает никакой информации наблюдателю, ввиду того что в состоянии равновесия в ней не происходит никаких макроскопических изменений. А пока система не достигла равновесного состояния, в

ней осуществляется направленное движение, и наблюдатель может следить за происходящими в ней процессами, фиксируя изменение концентраций, давлений или температур. Этот вывод можно распространить на процессы теплообмена, химические реакции и другие направленные процессы.

Теперь предположим, что объектом наблюдений является жестко детерминированная система, но наблюдателю неизвестна заранее присущая элементам этой системы строгая взаимосвязь. Это значит, что в начальный момент наблюдений считается априорно, что все состояния равновероятны, и потому первоначальная неопределенность представлений о данной системе максимальна: $H_{\text{н}}(t_0) = H_{\text{max}}$. В результате проведенных исследований наблюдатель приходит к выводу, что при заданных исходных условиях в силу жесткой детерминации система может пребывать только в одном (k -м) состоянии, которому соответствует $p_k = 1$ (и, следовательно, $p_1 = p_2 = \dots p_{k-1} = p_{k+1} = \dots = p_N = 0$). Это значит, что

$$H_{\text{н}}(t_k) = 0; \quad \Delta I_{\text{н}}(t_k - t_0) = H_{\text{max}}; \quad \Delta I_{\text{н}}(t_{k+1} - t_k) = 0.$$

Таким образом, и в этом случае дальнейшие наблюдения лишены смысла, так как, выявив присущие жестко детерминированной системе связи, наблюдатель может абстрагироваться от объекта наблюдений и предекать все его состояния, соответствующие исходным параметрам, заданным априорно. *Новые наблюдения* над объектом понадобятся только в том случае, если в функционирование его элементов вмешалась случайность (неисправность в механизме и т. п.).

По-иному обстоит дело, если системе присущи частично детерминированные, а частично случайные связи (как это имеет место в языке). Такая система обладает неустраимой неопределенностью H_0 и сохраняет порядок $H_{\text{н}} = H_{\text{max}} - H_0$. Получив о такой системе информацию: $\Delta I_{\text{н}}(t_k - t_0) = H_{\text{н}}$, наблюдатель устранил неопределенность своих первоначальных представлений $H_{\text{н}}(t_0)$, выявил избыточную информацию и все детерминированные связи, присущие объекту. Однако и после этого он не может предекать будущие состояния объекта в силу его стохастических (спонтанных, мутационных) свойств. В этом случае наблюдения не прекращаются, но приобретают иной характер: теперь исследователя интересуют не интегральные статистические характеристики (распределения вероятностей и т. п.), а конкретные состояния объекта в каждый данный момент. На этом этапе наблюдатель старается выявить все спонтанные изменения, происходящие на фоне той избыточной информации, которую он может заранее предсказать. Именно так биолог наблюдает за эволюцией тех или иных популяций, социолог — за развитием общественных событий, ученый любого профиля — за

соответствующей его специализации периодической печатью, каждый из нас — за ходом мыслей собеседника, лектора или автора книги, отраженным в непредсказуемом сочетании произнесенных или написанных ими слов.

С целью сопоставления рассмотренных соотношений объективной упорядоченности систем и информации наблюдений с приведенными выше высказываниями У. Эббота и У. Филдса возьмем два крайних случая:

Случай 1. Фактическая неопределенность системы максимальна:

$H_0 = H_{\max}$, так как $p_1 = p_2 = \dots = p_N$. Это значит, что в самом начале представления наблюдателя о неопределенности системы совпадают с ее фактической неопределенностью, неопределенность представлений наблюдателя отсутствует, т. е. $H_n(t_0) = 0$. Информация, полученная путем наблюдений, не дает в этом случае никаких новых сведений о структуре системы ($\Delta I_n(t) = 0$); она лишь подтверждает объективную неупорядоченность системы (наблюдатель убеждается, что $p_1 = p_2 = \dots = p_N$).

Случай 2. Система обладает большой упорядоченностью, значения p_1, p_2, \dots, p_N резко дифференцированы. В начале исследований неизвестны значения p_1, p_2, \dots, p_N ; поэтому неопределенность первоначальных представлений $H_n(t_0)$ велика. В результате исследований наблюдатель выявил истинные значения p_1, p_2, \dots, p_N , т. е. получил достаточно большое количество информации $\Delta I_n(t_k - t_0)$ позволившее ему устранить неопределенность собственных представлений $H_n(t_k - t_0)$.

Теперь сопоставим полученные нами выводы с приведенным выше высказыванием У. Филдса и У. Эббота.

Предположим, что на основании результатов многократно повторенных наблюдений построена кривая распределения вероятностей состояния элементов объекта (скоростей, координат, энергии и т. п.). Если эта кривая обладает большой дисперсией, значит система является объективно неупорядоченной и полученные о ней сведения мало уменьшили неопределенность первоначальных представлений наблюдателя. В этом случае полученная из наблюдений информация $\Delta I_n(t_k - t_0)$ будет мала (ср. случай 1). Если же в итоге исследований будет установлено, что кривая распределения вероятностей обладает малой дисперсией («острым пиком», по выражению У. Эббота и У. Филдса), то информация, полученная при наблюдении, будет достаточно велика (ср. случай 2). В самом деле, если до наблюдения исследователь не имел никаких представлений о статистических свойствах системы, то, получив информацию, по которой он строит вероятностную кривую, он может определить, какие явления наиболее характерны (им соответствует «пик» вероятностей), и утверждать, что для данной системы вероятность повторения таких-то характерных явлений велика, а отклонений от них —

мала (о чем свидетельствует малая дисперсия вероятностной кривой). Таким образом, **количество полученной информации** $\Delta I_n(t_k - t_0)$, **определяемое разностью неопределенности представлений наблюдателя до начала исследований и после их окончания, действительно оказывается обратно пропорциональным дисперсии результатов.**

Рассмотренные нами соотношения объективной упорядоченности статистической системы и информации, получаемой при ее наблюдениях, полезно сопоставить с общепринятым определением **коэффициента избыточности** R . Поскольку при его определении приходится исходить из имеющихся (и далеко не всегда исчерпывающих) данных, в общем случае величина R зависит и от неопределенности представлений $H_n(t)$. С учетом этого обстоятельства выражение коэффициента избыточности может быть представлено в виде

$$R(t) = 1 - \frac{H_0 + H_n(t)}{I_{\max}}. \quad (13)$$

По мере изучения статистических свойств системы

$$H_n(t) \rightarrow 0; \quad R(t) \rightarrow R_{\lim} = 1 - \frac{H_0}{I_{\max}}. \quad (14)$$

Соотношение (14) показывает, что в результате устранения неопределенности представлений $H_n(t)$ выявляется истинное значение коэффициента избыточности R_{\lim} , совпадающее с общепринятым определением R (чтобы убедиться в этом, достаточно сопоставить выражение (14) с приведенным в предыдущем пункте выражением (2), имея в виду, что $I_\Phi = |H_0|$, $I_{\max} = |H_{\max}|$). При этом полное количество избыточной информации, содержащейся в исследуемой статистической системе ($I_{n \max}$), определится как

$$I_{n \max} = R_{\lim} I_{\max} = I_{\max} - H_0. \quad (15)$$

По мере устранения первоначальной неопределенности представлений об исследуемой системе обнаруживается ее избыточность, т. е. в соответствии с (13) уменьшается $H_n(t)$ и увеличивается коэффициент $R(t)$, который характеризует объективную упорядоченность системы (выявление которой как раз и есть цель любых наблюдений). Этот процесс иллюстрируется данными статистического анализа английских текстов, представленными в приведенной ниже таблице.

Условия расчета	Равная вероятность букв	Учет вероятностей отдельных букв	Учет вероятностей 3-х буквенных сочетаний	Учет вероятностей 8-ми буквенных сочетаний
Обозначения Шеннона	H_0	H_1	H_3	H_8
Параметры: $I_N(t)$	4,76 (H_{\max})	4,03	3,10	1,90 (H_0)
$H_N(t) = I_N(t) - H_0$	2,86	2,13	1,20	0
$R(t)$	0	0,15	0,35	0,60 (R_{lim})

При ее составлении за основу приняты подсчитанные К. Шенноном значения энтропии английских текстов в алфавите из 27 букв. Значение энтропии H_0 принималось за объективную стохастичность (в принятых нами обозначениях — H_0); такое допущение является вполне приемлемым ввиду малой корреляции за пределами текстового интервала длиной более восьми букв.

6.2.3. Информационно-системный анализ истин

В настоящее время разработана основанная на идеях кибернетики общая методология исследований сложных истин. Одна из наиболее важных характерных черт системного анализа заключается в том, что он позволяет устанавливать общие свойства у совершенно различных по своей природе истин. Попытаемся показать, что объективной основой тех обобщений, которые дает системный анализ, является общность энтропийно-информационных соотношений, характеризующих структуру и состояние исследуемых истин.

Начнем с вопроса о том, каким образом соотносятся между собой понятия «информация» и «система».

Даже при беглом взгляде на эту проблему становится очевидным, что между указанными понятиями существует тесная связь. Ю. В. Сачков дает общее определение системы как «некоторой совокупности объектов (элементов), существенным образом связанных общностью (целостностью) поведения в определенных классах взаимодействий». Далее он отмечает, что простые системы могут вступать во взаимодействие, становясь элементами более сложных систем. Вполне очевидно, что в приведенном определении целостность и связность системы могут быть обеспечены только путем согласованных взаимодействий, которые обеспечиваются информационными связями между ее элементами. Поэтому необходимой компонентой любого системного

анализа служит информационный подход.

Мера количества информации, определяемая нами как мера упорядоченности движения элементов системы, является одновременно и мерой структурно-функциональной сложности различных систем. Вполне очевидно, что только после того, как система достигла определенной степени упорядоченности происходящего в ней микродвижения (т. е. накопила определенное количество информации на микроскопическом уровне), в этой системе могут возникнуть сначала стабильные траектории, а затем обеспечивающая устойчивость системы как целого функциональная дифференциация отдельных ее частей. До возникновения количественной меры информации исследователи сложных систем (например, биологических) не располагали иными возможностями, кроме словесных определений, описаний и классификации их признаков. Мера количества информации позволяет производить точную сравнительную оценку степени сложности различных систем.

Общность понятия «системы» позволяет объединить под этим названием такие разнородные объекты, как физические тела (системы элементарных частиц, атомов, молекул), организмы, биологические популяции, биосфера в целом, общественные структуры, языки, письменные тексты, научные теории и т. д. При этом такое объединение ни в коей мере не будет приемом формальной классификации, а, напротив, позволяет выявить целый ряд общих, присущих системам любой природы качеств и свойств. **Выражением общности этих свойств служат такие понятия, как «структура», «организация», «управление» и т. п.** При этом вполне правомерно производить сравнение структуры общественных систем со структурой нервных тканей, взаимосвязей элементов в языке со связями в живом организме и т. п. В отличие от художественных метафорических образов, строящихся по принципу аналогии отдельных черт, сопоставления различных систем оказываются многосторонними и глубокими в силу единства природы информационных связей, составляющих фундаментальную основу всех существующих в природе систем

Выделяя в особый класс систем **сложные управляющиеся системы**, Ю. В. Сачков относит к этому классу «системы с относительно независимым, автономным поведением подсистем (элементов) при высокой внутренней активности и избирательности, целенаправленности функционирования (поведения) системы в целом. Эти системы являются открытыми, находящимися в постоянном взаимодействии с окружением (средой) и принципиально способными решать весьма разнообразные классы задач (действовать при весьма различных обстоятельствах)». Вполне очевидно, что **необходимым условием существования**

подобных систем будет опять-таки наличие информационных связей, но теперь уже не только внутренних, но и внешних, обеспечивающих оптимальное взаимодействие с окружающей средой.

Надо особо подчеркнуть тот факт, что использование идей кибернетики в системном анализе существенно расширило представление о возможностях обеспечения устойчивого состояния систем. Условием устойчивости жестко детерминированных систем является неизменность («прочность») их компонент, свойств и связей. Гомеостазис обладающих сложной структурой адаптивных систем обеспечивается, напротив, лабильностью связей, существующих как между элементами рассматриваемой системы, так и между системой и окружающей средой. Таким образом, в результате системного анализа к понятию «прочности» системы добавились понятия о ее «адаптивности», «надежности» и «лабильности». Именно этими качествами обеспечивается способность системы самостоятельно переходить в случае изменения условий внешней среды в новое гомеостатическое состояние. В этом и заключается принципиальное отличие «структурных» и адаптивных систем от систем жестко детерминированных, которые могут сохранять целостность и устойчивость только в условиях стабильной среды.

Из класса сложных управляющих систем следует выделить подкласс самоорганизующихся систем, способных адаптироваться к среде, изменяя не только свои параметры, но и структуру. Проблемы, связанные с исследованиями подобных систем, особенно сложны, и в этом направлении ведутся значительные исследования. Поскольку структурная сложность систем определяется общим количеством сохраняемой информации и количеством уровней ее кодирования, весьма полезно ввести в системный анализ классификацию, основанную на информационных свойствах систем. Такая классификация приводит к следующей иерархии существующих в природе систем.

I. Системы, способные сохранять информацию (т. е. направленность движения элементов) лишь на короткий период отклонения от состояния равновесия (газы, жидкости).

II. Системы, способные в течение длительного времени сохранять информацию и передавать ее родственным системам (кристаллы, магнитные или поляризующиеся среды и т. п.),

III. Системы, способные не только сохранять информацию, но и осуществлять отбор и накопление информации (живые организмы, биологические виды).

IV. Системы, способные путем целенаправленного сопоставления накопленной и вновь получаемой информации созидать новую

информацию (мыслящий человек, социальные группы, системы «ЭВМ — человек»).

Как отметил А. Д. Арманд, **принципиальная особенность двух последних категорий заключается в наличии специализированных функциональных органов, предназначенных для хранения, обработки и передачи информации, в то время как у двух предыдущих видов систем специализированные органы информации отсутствуют и их функции рассредоточены по всей структуре соответствующей системы.**

Именно наличием специализированных информационных органов обеспечивается прогрессивное накопление информации, приводящее к развитию систем. Однако из этого вовсе не следует, что процессы развития не имеют места в системах предыдущих двух категорий. Процесс кристаллизации нельзя считать процессом развития: этот процесс детерминирован, не порождает новых качественных признаков, подобен процессу книгопечатания, в котором роль типографского набора взял на себя первый внесенный в раствор кристалл.

Однако неорганической природе присущи иные процессы: возникновение новых типов кристаллов с более сложной структурой, возникновение сложных молекул, органических соединений и т. п. Эти процессы являются звеньями единой цепи развития нашей планеты, благодаря которым в последующих стадиях возникли системы, относящиеся к более высоким категориям рассмотренной нами иерархии информационных систем.

При системных исследованиях сложных объектов основное внимание уделяется таким характеристикам, как организация, структура, взаимосвязи элементов, управление, самоорганизация. Все перечисленные характеристики можно объединить под общим названием **функциональных характеристик**, в противовес таким **субстанциональным характеристикам**, как масса, энергия, химический состав и т. п.

До появления кибернетики внимание всех естественных наук было сосредоточено в первую очередь на исследованиях субстанциональных характеристик. При исследованиях объектов в кибернетическом, информационном и системном аспектах субстанциональные характеристики отодвигаются на второй план. «Даже в организме,— замечает по этому поводу Л. А. Николаев,— можно заменить искусственными аппаратами и такие важные детали, как сердце, почки, легкие, сосуды, кости и т. п. ... Это **убедительная иллюстрация преимущественного значения функций, слабо зависящих от материала**».

Следует отметить, что предложенная К. Шенноном мера количества

информации (так же как и сама категория информации), будучи одной из функциональных характеристик, имеет одно принципиальное отличие от всех остальных: она отражает не однозначные (параметрические) зависимости, а многозначные (кодовые) взаимосвязи элементов систем. Благодаря абстрагированию от субстанциональных характеристик с помощью этой меры удастся **проследить преобразование информации (перекодирование) в процессах ее накопления, хранения и передачи.** Так, например, в процессе передачи телеграфного сообщения участвует множество самых разнородных по своим субстанциональным свойствам систем: текст, глаза телеграфиста, его нервные каналы, мозг, ключ, провода, приемное и передающее устройство и т. д. **Анализ информационных преобразований в таком процессе может быть произведен безо всякого учета субстанциональных свойств элементов канала связи.** Рассматриваются только функциональные характеристики: **количество информации, способ кодирования, пропускная способность канала связи.**

После открытия Второго закона термодинамики внимание исследователей было направлено преимущественно на изучение **закртых систем**, в которых естественно протекающие процессы неизбежно приводят к **возрастанию энтропии.** С появлением теории информации заметно возрос интерес к исследованиям **не подчиняющихся Второму закону термодинамики** и более сложных по своей природе **открытых систем.** Поведение части этих систем подчиняется теореме Пригожина. К их числу относятся те системы, которые, не достигая максимальной энтропии, способны неограниченное время поддерживать статистическое равновесие со средой. Такое равновесие достигается благодаря тому, что описываемые теоремой Пригожина системы обладают **компенсирующими реакциями на воздействие внешней среды.** Другими словами, теорема Пригожина есть не что иное, как раскрытие статистического механизма принципа Ла-Шателье. Однако, несмотря на успешно преодоленную Пригожиным сложность математической формализации данного механизма, описываемая его теоремой статистическая модель еще весьма далека от модели гомеостаза или тем более от модели эволюции структурных систем.

Если все типы систем расположить вдоль условной шкалы по степени нарастания их сложности, то системы, описываемые теоремой Пригожина, окажутся значительно ближе к термодинамически равновесным системам, нежели к **сложным, структурным и многофункциональным системам, равновесное состояние которых кибернетика характеризует понятием «гомеостазис».** Дело в том, что и

теорема Пригожина, и статистическая теория Больцмана распространяются только на категорию гомогенных, бесструктурных систем, состоящих из множества не обладающих никакими различиями элементов. В любом случае, когда возникает различие признаков элементов («алфавит» системы) и различие их комбинаций (структуры), принципиально необходимым становится информационный подход. Именно с этих позиций анализирует физико-химическую основу биологических систем и процессов Л. А. Николаев. Полученные им на этой основе выводы полностью совпадают с оценкой роли информации, являющейся своего рода «моделью движения» в этих процессах, представленной Е.А. Седовым и приведенной нами ранее в этой работе

Как показал Л. А. Николаев, информационный подход может быть распространен на многие естественно протекающие процессы. Согласно определению этого автора, кодом может служить всякая упорядоченная в пространстве или во времени последовательность воздействий. Примером предельной упорядоченности воздействий (полной детерминации) может служить гармонический колебательный процесс.

Взаимодействие любой системы X с гармонической системой Y является частным случаем рассмотренных ранее энтропийно-информационных соотношений, описываемых условием

$$H(X; Y) < H(X) + H(Y).$$

В силу жесткой детерминации системы Y в данном случае $H(Y) = 0$, и, следовательно, $H(X, Y) < H(X)$. Другими словами, в результате гармонических воздействий система X приобрела информацию

$$\Delta I = H(X) - H(X; Y).$$

В зависимости от конкретных свойств системы X данная информация может сохраняться кратковременно (как, например, возмущения воды корабельным винтом), продолжительно (например, в песчаных дюнах) и даже «вечно» (периодические приливы и отливы морей в результате взаимного движения Земли и Луны).

Важно отметить и то обстоятельство, что все процессы информационных воздействий, начиная с простейшего случая гармонических колебаний, обеспечиваются за счет упорядоченности (организованности) самих воздействующих систем (маятника, резонансного контура, атома, поля и др.). Именно благодаря упорядоченности система приобретает способность передачи и приема сигналов. Так, например, упорядоченное расположение в атоме орбит электронов и их квантовых энергетических уравнений, так же как упорядоченное устройство механических маятников или

колебательных электрических контуров, — основа *резонансных явлений*, которые можно рассматривать как простейшую сигнальную (информационную) связь. **Пространственная упорядоченность атомов в решетке кристалла обеспечивает возможность передачи информации в процессах кристаллизации, в которых источник информации — внесенный в раствор кристалл.**

Весьма интересна, на наш взгляд, данная Л. А. Николаевым информационная трактовка химических процессов и, в частности, **объяснение влияния катализаторов как кодирующих систем.** Оказывая влияние на ход и скорость химических процессов, катализатор, как известно, может сам не испытывать никаких параметрических изменений. Л. А. Николаев объясняет это тем, что **влияние катализатора имеет чисто информативный характер: создание упорядоченности процесса либо за счет пространственной упорядоченности поверхности катализатора, либо за счет временной упорядоченности его воздействия** (в цикле Кребса, в цитохромных системах и т. п.) (в данном случае следует уточнить применяемую Л. А. Николаевым терминологию: лучше называть катализатор не кодирующей, а **программирующей системой**, поскольку **кодирование не приводит к увеличению количества информации, а лишь переводит заданную информацию с одного языка на другой**).

Наряду с идеей широкой применимости принципа кодирования, **теория информации утвердила идею универсальности** самих кодов. Так, например, **всего лишь двух признаков (знаков кода, которые можно условно обозначить как 0 и 1) оказывается достаточно, чтобы описать соответствующим — двоичным — кодом любое явление и выразить любую мысль.** Чрезвычайно важно еще и то обстоятельство, что этот «язык» оказался доступным целому ряду имеющих два устойчивых состояния довольно простых устройств (реле, транзистор, магнитная ячейка и т. п.). Идея о том, что определенной последовательностью соединений этих простейших устройств достигается запоминание и обработка любой информации, в известной мере лишила покрова таинственности процесс мышления и послужила основой для построения предположений о принципах обработки информации в человеческом мозге.

Итак, **информационный подход открыл новые широкие возможности анализа функциональных характеристик сложных упорядоченных систем.** Однако, как это обычно случается в познавательных процессах, новый подход к явлениям обострил противоречия, выразившиеся в крайних точках зрения на сущность рассматриваемой проблемы. Не удивительно, что подобные крайности

проявились и в отношении проблемы взаимосвязи функциональных и субстанциональных свойств анализируемых систем. Одна из крайних позиций в данном вопросе нашла свое отражение в высказывании У. Р. Эшби, считающего, что для успешного исследования любых систем «нужно исключить из рассмотрения два не относящихся к делу фактора. Первым из них является «материальность» — идея о том, что машина должна быть сделана из реальных материалов... Точно так же не относится к делу любая ссылка на энергию».

Против категоричности данного утверждения возражали многие ученые, в частности болгарский философ Сава Петров, потребовавший вернуть такую категорию, как субстанция (С. Петров называет ее субстратом), и высказавший предположение, что «будущее развитие науки вновь подтвердит значение субстратного анализа». Примерно такой же точки зрения придерживаются В.В. Агудов, Е.И. Сви́дeрский, Г.А. Югай и др.

Подводя итог подобным высказываниям, Т. П. Мельников приходит к выводу, что **«положение о взаимосвязи свойств структуры и субстанции объекта входит в само определение системы», ибо «субстанция содержит потенции к наиболее вероятной значимости элементов, эти значимости задают «подходящую для субстанции» структуру, а из конкретизации структуры при заданной субстанции вытекают основные внешние свойства системы как целого. Следовательно, признавая факт взаимосвязи и взаимовлияния структуры и субстанции в системах, можно рассуждать о том, какими должны быть предпочтительные структурные характеристики системы, если заданы ее внешние наблюдаемые свойства и субстанция, какова предпочтительная субстанция, если задана структура и внешние свойства, как должны быть согласованы структурные и субстантные характеристики, если заданы только внешние наблюдаемые свойства и качества системы».**

На первом этапе становления категории «информация» авторов многих работ приводил в некоторое смущение явно выраженный функциональный аспект информационных процессов, ставящий категорию информации в некоторое обособленное положение относительно категорий материи и энергии и подчеркивающий ее «нематериальность». Введенная Е.А.Седовым и рассмотренная нами ранее в настоящей работе интерпретация меры количества информации, как меры упорядоченности статистических форм движения определяет место «информации» и связь этого понятия с категориями «материя», «движение» и «энергия». Становится очевидным, что **сама по себе информация и не может быть «материальной», поскольку она является лишь мерой одного из присущих материи (движению)**

свойств. Вместе с тем очевидно, что носителями любых форм информации являются те или иные материальные объекты. Однако с методологической точки зрения обычно предпочтительно рассматривать информационные процессы в отвлечении от их субстанциональных свойств.

На первом этапе развития кибернетики некоторые ученые высказывали противоположные опасения, полагая, что новая трактовка мышления как процесса обработки сигналов, циркулирующих по цепям нейронов коры больших полушарий, лишает мысль ее «идеальности» и возрождает механицизм. Подобные взгляды высказывались, в частности, В. К. Колбановским. Данные опасения лишаются почвы в случае, если анализ процессов мышления (или других информационных процессов) учитывает противоречивость и единство их функциональной и субстанциональной сторон.

В самом деле, из-за того, что процесс мышления рассматривается как осуществление совокупностей сугубо материальных элементарных актов (возбуждений и торможений нейронов), **мысль не теряет своей идеальной сущности. Образ стула, хранящийся в нашей памяти, представляет собой определенное множество материальных сигналов. И все же этот «стул» не перестает быть идеальным, поскольку в отличие от материального стула на нем нельзя сидеть.**

Главное достоинство научного понятия информации заключается именно в его «емкости», позволяющей в принципе **проследить функционально всю цепочку сложных явлений начиная от объективных свойств материальной системы и кончая субъективными, идеальными представлениями, обусловленными сохраняемой в чем-то сознании информацией о той же системе. При этом информационные процессы могут рассматриваться поочередно и в функциональном и в субстанциональном аспектах, а для полного описания их сложной природы необходимо исследовать всю совокупность их функциональных и субстанциональных свойств.**

В этой связи весьма интересно рассмотреть, каким образом тенденция к абстрагированию от субстанциональных характеристик и вычленению в исследуемых объектах чисто функциональных или чисто информационных связей изменила представление о самих «субстанциях» (можно сказать, что в данном случае в новых теоретических концепциях возникла своеобразная обратная связь).

До появления представлений о **процессе мышления как о сложном функциональном взаимодействии систем нейронов** представления о связи мышления с мозгом носили вульгарно-механистический характер: считалось, что мысли (понятия, образы) локализованы в

извилинах коры. Напротив, **функциональное представление о процессе мышления привело к заключению, что все, как теперь принято называть, функциональные органы, или структуры мозга, «размазаны» по коре больших полушарий (или их крупным участкам) и объединяет их не «территориальная», а чисто информационная связь.** Можно предположить, что по мере развития интеллекта число нейронов увеличивается пропорционально увеличению площади коры больших полушарий, на поверхности которых образуется своеобразный «гофр». Этим, видимо, и объясняется выявленная ранее тенденция увеличения количества так называемых извилин по мере развития функциональных возможностей мозга. В данном случае, как и во многих других, **осуществляется принцип взаимной корреляции функциональных и субстанциональных характеристик, между которыми, как правило, возникает обратная связь. Влияние функционального подхода на представления о природе «субстанции» характерно для современного этапа развития генетики.** До расшифровки генетического кода идея гена связывалась с конкретными наследственными признаками: подразумевалось, что за конкретный признак ответственна сосредоточенная в хромосоме некая конкретная субстанция — «ген». **Проведенные исследования дают основания утверждать, что информация о каждом признаке, связанном с теми или иными особенностями строения организма потомков (скажем, о форме крыльев или о цвете оперения птицы), может храниться не в одной, а во множестве хромосом. Понятие «ген» стало приобретать не только субстанциональный, но и функциональный характер.** Таким образом, в этом случае, так же как при сопоставлении процесса мышления с состоянием клеток мозга, на первый план выступает ***чисто функциональная связь.***

Тот же ***функциональный подход*** преобладает в настоящее время в науке при оценках различия ***структурных уровней*** исследуемых систем. Представление о различии структурных уровней организации материи сформировалось в чисто субстанциональном аспекте. Примером этого может служить общепризнанное **разграничение структурных уровней жизни: квантовый, молекулярный, клеточный, тканевый, организменный; уровни популяций, биоценоза, биосферы.** В перечисленных системах градации субстанциональных и функциональных уровней полностью соответствуют друг другу, поэтому сформировавшееся при субстанциональном подходе представление об иерархии структурных уровней живой материи не претерпело никаких изменений, когда на первый план был выдвинут функциональный подход. Однако подобное **соответствие субстанций и функций** отнюдь не является общим законом. Так, например, одному субстанциональному

уровню может соответствовать множество функциональных уровней языка. Материальная субстанция языка в устной речи — звуковые волны, в письменной — печатные знаки. При этом одному субстанциональному уровню соответствует целая иерархия функциональных структур: связи между буквами (звуками), словами, фразами, понятиями, концепциями и т. д. Язык — средство отражения мыслей, поэтому вполне естественно, что в области мышления и построения научных теорий мы опять-таки обнаруживаем сложную функциональную иерархию, основой которой является один и тот же субстанциональный орган — мозг. **Точно так же и в человеческом обществе на одном субстанциональном уровне (на уровне человека) возникает сложная взаимосвязь и иерархия функциональных социальных структур.**

Только при условии четкого разграничения субстанциональных и функциональных характеристик системно-информационного анализа и их взаимосвязи можно объяснить экспериментально установленный факт независимости количества энергии, потребляемой мозгом, от интенсивности мыслительного процесса. Определено, что в период напряженной умственной деятельности (решения математической задачи, поиска художественного образа или формы и т. п.) мозг потребляет столько же энергии, сколько во время сна (около 25 ватт). Долгое время этот факт не находил объяснения именно потому, что в представлениях о процессе умственной деятельности отсутствовало четкое разграничение его функциональной и субстанциональной сторон. **В результате системно-информационного подхода функционирование мозга представляется как формирование информационных связей между нейронами и циркуляция сигналов в объединяемых этими связями нейронных сетях. Эти сети взаимосвязанных нейронов и являются субстанциональной основой всех сохраняемых памятью функциональных структур (представлений, понятий, образов) независимо от того, включены ли эти функциональные структуры в мыслительный процесс, осуществляющийся в данный отрезок времени, или хранятся памятью «про запас».** Отсюда становится очевидным, что участвующие в каждый момент времени в активном процессе мышления функциональные структуры составляют ничтожную долю всех сохраняемых мозгом структур; соответственно и доля энергии, расходуемой на циркуляцию сигналов в этих активизированных в данный момент структурах, настолько незначительна и по сравнению с суммарной энергией всех сохраняемых мозгом структур, что измерить изменения энергии при «включении» тех или иных структур в процесс активного мышления (например, при извлечении из памяти необходимой математической формулы) практически нельзя. Это и породило

ошибочное (в силу его приблизительности) представление о независимости расхода энергии от умственного напряжения (экспериментальным подтверждением данного вывода является обнаруженное во время решения задач усиление кровоснабжения мозга, свидетельствующее об интенсификации окислительных энергетических процессов).

В этой связи следует обратить внимание на еще один весьма важный для системного анализа факт: в обладающих высокой степенью структурной организации системах сложное информационное функционирование может быть обеспечено без существенных энергетических затрат. Такая ни с чем не сравнимая по объему сохраняемой и обрабатываемой информации система, как человеческий мозг, требует для своего функционирования столько же энергии, сколько потребляет двадцатипятиваттная электрическая лампочка, дающая сравнительно слабую освещенность. Благодаря указанной особенности информационно-энергетических соотношений ничтожной энергией управляющих сигналов удается обеспечивать правильное функционирование и взаимодействие потребляющих порой огромную энергию технических систем.

Высказанные здесь общие соображения могут быть подкреплены конкретным расчетом на основе соотношения

$$\Delta S - k\Delta H = W/T,$$

где k — постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/градус.

Переходя от термодинамических единиц к информационным (битам) путем введения множителя $\ln 2$, представим данное выражение в виде:

$$\Delta H = W/kT \ln 2;$$

для $W = 1$ ватт при нормальной температуре среды ($t^\circ = 20^\circ \text{C}$, $T = 273 + t^\circ$) мы получим:

$$\Delta H = |\Delta I| = 35 \cdot 10^{12} \text{ бит.}$$

Это значит, что при КПД = 100% одного ватта энергии достаточно для питания информационной системы, содержащей $35 \cdot 10^{12}$ бит.

В равной степени справедливо и такое утверждение: получение 1 ватта направленной энергии путем превращения тепла в полезную работу соответствует увеличению информации на $35 \cdot 10^{12}$ бит.

На основании данного замечания можно поставить вопрос о введении в теорию информационно-энергетического коэффициента (правда, зависящего от температуры среды):

$$\gamma_{(t^\circ=20^\circ \text{C})} = 35 \cdot 10^{12} \text{ бит/ватт.}$$

Полагая, что КПД мозга приближается к 100%, мы приходим к заключению, что количество сохраняемой мозгом информации при потреблении энергии 25 ватт может достигать $\gamma = 10^{15}$ бит.

6.3. Диалектика случайных и детерминированных связей в процессах развития

6.3.1. Уточнение понятия развития в терминах теории информации

Рассмотренные ранее примеры показывают, что **процессы развития обусловлены увеличением количества информации, накапливаемой и сохраняемой в структуре развивающихся систем.** Данная точка зрения, получила дальнейшее развитие. Вместе с тем из результатов работ ученых следует, что внедрение методов теории информации в исследования процессов развития сопряжено с целым рядом методологических трудностей, к числу которых следует отнести отсутствие определения самого понятия «развитие» и четкого разграничения его форм. **В данном разделе делается попытка, во-первых, дать определение понятия развития в терминах теории информации и теории случайных процессов, а во-вторых, выявить и сформулировать в тех же терминах некоторые общие свойства этих процессов.**

Среди направлений современной науки биология представляет ту область, для которой вопросы методологии исследований процессов развития особенно актуальны. Именно поэтому в биологии раньше, чем в других областях, назрел вопрос о необходимости уточнения идеи развития и разграничения видов развития, поскольку до настоящего времени одним и тем же термином «развитие» обозначался нередко и филогенез, и онтогенез. Между тем имеется принципиальная разница между филогенезом и эмбриональной стадией онтогенеза и морфогенеза. Эмбриональное развитие зародыша из зиготы (онтогенез), в частности развитие и дифференциация форм его органов (морфогенез), осуществляется в соответствии с заложенной в ДНК детерминированной программой (согласно современным научным воззрениям вероятностная трактовка — одна из форм проявления детерминизма. В связи с этим необходимо внести уточнение: в дальнейшем изложении термины «детерминированные связи», «детерминированная программа» и т. п. мы будем употреблять как антонимы терминов «вероятностные связи», «вероятностные программы» и т. д., относя прилагательное «детерминированный» («детерминированные») к жестким связям, при которых начальное состояние и заданный комплекс внешних условий однозначно

предопределяют последующие состояния элементов систем).

В этой стадии находящийся в оплодотворенной яйцеклетке зародыш может быть отнесен к категории если не полностью, то во всяком случае преимущественно **закрытых для внешней информации детерминированных систем (птенец в яйце)**. Этим эмбриональные процессы развития коренным образом отличаются от развития популяций и биологических видов (филогенеза), поскольку **популяция (или вид) является открытой информационной системой, развитие которой определяется не только изначальной программой (генофондом), но и взаимодействием случайной изменчивости и естественного отбора, обусловленного воздействием внешней среды.**

В ходе развития популяций и видов происходит образование новых полезных признаков, не предусмотренных изначальной программой. Благодаря этому эволюция видов представляет собой один из наиболее ярких примеров движения по восходящей линии от простых форм к более совершенным и сложным, и потому именно эволюция (а не детерминированные процессы эмбрионального онтогенеза и морфогенеза) соответствует тому определению развития, которое вкладывает в это понятие диалектический материализм.

Как было показано ранее, **всякое развитие может характеризоваться увеличением количества информации, сохраняемой развивающейся системой.** При этом **статистическая мера количества информации служит мерой объективной упорядоченности движения элементов системы, а содержательная сторона информации заключается в сохранении и передаче «моделей» (алгоритмов) движения элементов систем.** Однако **условие накопления информации для развития необходимо, но недостаточно.** В этом сможет нас убедить следующий пример.

В книге М. Аптера «Кибернетика и развитие» рассмотрены некоторые процессы развития, моделируемые на электронных машинах с использованием детерминированных программ. На первый взгляд кажется, что эти модели опровергают высказанную ранее точку зрения, согласно которой основой всяких процессов развития должен являться не детерминированный, а вероятностный (стохастический) механизм. На самом же деле кажущиеся противоречия между примерами Аптера и точкой зрения, изложенной ранее, носят чисто терминологический характер. Дело в том, что термином «биологическое развитие» М. Аптер обозначает процессы роста и дифференцировки, причем, следуя П. Вейсу, предлагает обозначать термином «рост» увеличение числа элементов одного сорта, а термином «дифференцировка» — увеличение числа сортов. Именно такие процессы (рост, рост с дифференцировкой) М.

Аптер моделирует с помощью детерминированных программ на ЭВМ. Но коль скоро речь заходит об *эволюционном развитии* (М. Аптер именует этот процесс просто *эволюцией* с целью подчеркнуть отличие ее *от биологического развития*), то тут и сам Аптер признает необходимым ввести в программу электронной машины ту или иную стохастическую модель (в частности, химическую машину Г. Паска, в которой в качестве стохастической модели используются нити случайной конфигурации, возникающие вследствие электролиза и выделения ионов металла, растворенного в кислоте). Очевидно, что в принятой нами терминологии только понятие эволюционного развития соответствует диалектическому представлению о развитии, в то время как детерминированные процессы роста и дифференцировки по заложенной в ЭВМ или в ген программе **не дают ни новых признаков, ни новых связей**. Они являются лишь повторением информации, заложенной первоначально в программе, и в этом отношении их можно сравнить с процессом печатания книг, не порождающим ни новых теорий, ни новых идей.

Следует подчеркнуть, что рассматриваемые М. Аптером детерминированные модели **имитируют развитие лишь информационно закрытых систем**. Это не что иное, как **лапласовский мир в миниатюре, мир, в котором не происходит ничего, что не было бы предусмотрено изначальной программой, определяющей весь ход происходящих в этом мире событий**.

Между тем **основой развития реального мира являются не закрытые, а открытые для информации системы**, поскольку механизм естественного отбора основан на сопоставлении признаков, возникающих в результате внутренней случайной изменчивости, с информацией, поступающей из внешней среды. Согласно существующим воззрениям аналогичный принцип отбора распространяется не только на биологические системы, но и на объекты неорганической природы. В результате возникают устойчивые к внешним воздействиям системы, адаптация которых обусловлена их свойствами, удовлетворяющими обобщенному принципу Ле Шателье. Из этого следует, что **одним из условий диалектического развития является наличие открытых информационных каналов, по которым осуществляется связь системы с внешней средой**.

Сопоставление детерминированных моделей М. Аптера с процессами эволюции приводит к мысли о том, что не всякое накопление информации тождественно диалектическому развитию. **К категории диалектического развития относятся только такие процессы, в которых в результате взаимодействия происходит не многократное повторение и размножение известных заранее признаков, а появление новых**. Так, например, в процессе развития в результате

взаимодействия нескольких сложных систем может возникнуть новая суперсистема, в которую каждая из исходных входит как составная часть. Новая суперсистема будет «системой», а не «механической смесью» только в том случае, если дело не ограничивается простым «совмещением» вошедших в нее исходных систем. **Между исходными системами должны возникнуть новые связи, в результате чего количество информации, сохраняемой вновь возникшей суперсистемой, будет превышать суммарное количество информации исходных систем.** С учетом сказанного *развитием*, в диалектическом понимании этого термина, следует считать лишь такие процессы, в которых *увеличение количества информации опережает как увеличение массы системы (M), так и рост числа составляющих ее однородных элементов (N).* На языке математики эти условия выражаются соответственно как:

$$\frac{\partial^2 I}{\partial M^2} > 0, \quad \frac{\partial^2 I}{\partial N^2} > 0.$$

Анализируя роль естественного отбора в процессах образования систем, А. Л. Тахтаджян делит отбор на две категории: (1) *матричный отбор*, приводящий к многократному образованию идентичных систем; и (2) *эмерджентный отбор*, приводящий к образованию новых связей и соответствующих новых качественных признаков систем. Тахтаджян считает, что в отличие от эмерджентного (творческого, созидательного) отбора количество информации при матричном отборе не увеличивается. По нашему мнению, здесь следует внести уточнение: количество информации возрастает как при матричном, так и при эмерджентном отборе, только в первом случае количество информации возрастает линейно $\left(\frac{\partial I}{\partial N} > 0; \frac{\partial^2 I}{\partial N^2} = 0\right)$, а во втором — прогрессивно $\left(\frac{\partial^2 I}{\partial N^2} > 0\right)$.

Линейное накопление информации осуществляется, например, в процессах книгопечатания, кристаллизации, редупликации хромосом и т. п. Примером прогрессивного накопления информации могут служить все эволюционные процессы, осуществляющиеся не только в живой, но и в неорганической природе, процессы создания новых научных теорий, технических конструкций или социальных структур. Из проведенного анализа следует, что **прогрессивное накопление информации не может осуществляться по детерминированной программе. В основу таких процессов (равно как и их электронных моделей) должен быть непременно заложен вероятностный, стохастичный механизм.**

Оценивая возможности моделирования биологических процессов с помощью детерминированных моделей, А. В. Беркс пришел к заключению: «Мы не сможем как следует разобраться в вероятностных

автоматах до тех пор, пока не определим границы возможностей детерминированных автоматов, т. е. не будем знать, что они не в состоянии выполнять». При этом Беркс предполагает, что решать эту задачу следует эмпирическим путем. Однако, анализ детерминированных автоматов свидетельствует о том, что границы возможностей детерминированных автоматов могут быть установлены не только экспериментально, методом «проб и ошибок», но и путем логических заключений, базирующихся на общетеоретических положениях и накопленном опыте применения вероятностных и детерминированных программ для электронно-вычислительных машин. Нет нужды доказывать, насколько более предпочтительным является именно этот путь.

Если в процессе включения новых элементов в систему (т. е. с увеличением N) число признаков, по которым осуществляется отбор элементов, остается неизменным (т. е. сохраняется постоянный «алфавит»), то соотношение $\frac{\partial^2 I}{\partial N^2} > 0$ будет выполняться только в том случае, если рост числа элементов системы N сопровождается перераспределением (дифференцировкой) вероятностей элементов p_i и соответствующим уменьшением энтропии, определяемой с помощью функции $\sum_i p_i \log p_i$.

К анализу происходящего в ходе эволюции процесса дифференцировки вероятностей мы теперь и перейдем.

6.3.2. Пример соотношения случайных и детерминированных связей: язык

В предыдущем изложении мы старались подчеркнуть объективную роль стохастических связей в процессах развития. Однако из этого вовсе не следует, что детерминированным связям принадлежит в этих процессах какая-то второстепенная роль. **В диалектическом взаимодействии случайных и детерминированных связей роли их равноценны, перевес в сторону случайных связей приводит к нарушению целостности системы, перевес в сторону детерминированных связей уменьшает способность адаптации системы к условиям внешней среды.** Мир, в котором стохастические связи начали бы повсеместно вытеснять связи детерминированные, был бы ничуть не лучше, чем детерминированный лапласовский мир. В таком мире постепенно перемешались бы все видовые признаки: конь с петушиным гребнем мог

бы родиться с такой же степенью вероятности, как и петух с конским хвостом. А в конечном итоге в таком мире должны вообще исчезнуть всякие признаки и различия, ибо с исчезновением детерминированных связей и при безраздельном господстве связей случайных должна наступить та самая тепловая смерть, при которой Вселенная превратилась бы в лишенный каких бы то ни было признаков «бульон» из хаотически движущихся частиц. К счастью, этого не происходит, поскольку, как мы отмечали, **на «сосуществовании» случайных и детерминированных связей зиждется наш диалектический мир.**

Различие между двумя видами связей подчеркивалось многими авторами. Однако эти типы связей рассматривались не в эволюционной динамике, а в состоянии статистического равновесия тех или иных сформировавшихся систем. В этом отношении А.Е. Седов пошел несколько дальше и **рассмотрел динамический эволюционный процесс с помощью функции**

$$\sum_i p_i \log p_i.$$

В качестве рабочей модели развивающейся системы выбран письменный текст. Выбор этот не случаен. Письменный текст есть наиболее изученная статистическими методами эволюционирующая система. В отличие от генетических кодов, глубоко спрятанных природой от исследователя, статистические взаимосвязи между элементами текста (буквами, словами, фразами) осуществляются буквально у нас на глазах.

Представим себе ретроспективно (и достаточно умозрительно) процесс развития языка как системы начиная с момента появления первых членораздельных звуков до наших дней. Как и всякий процесс развития, данный процесс характеризуется **накоплением информации (увеличением набора грамматических и фонетических правил) и соответствующим уменьшением энтропии языка.** Математически этот процесс выражается как тенденция к увеличению неравномерности распределения вероятностей букв (к дифференцировке значений p_i , входящих в формулу $H = - \sum_i p_i \log p_i$) (наглядной иллюстрацией

процесса упорядочивания текста по мере увеличения дифференцировки вероятностей p_i являются «фразы», приведенные ранее. Каждая из трех фраз может служить моделью определенного этапа эволюции языка).

Увеличение набора правил, регламентирующих статистическую неопределенность, теория информации трактует как увеличение избыточности текста. Для инженера связи информация эта и в самом деле является избыточной: она не дает знакомому с грамматикой получателю

новых сведений и потому лишь зря загружает предназначенный для передачи сигналов канал. Но это вовсе не значит, что данная информация не нужна для самого языка (точно так же информация о том, что на свете появился еще один петух, имеющий гребень и хвост не из волос, а из перьев, является избыточной для получателя этого сообщения, но отнюдь не излишней для генетического кода самого петуха).

Напротив, **«избыточная» информация** — это **детерминированная информация, благодаря которой сохраняется структурная целостность любой развивающейся системы** (в частности, языка). Заложенный в систему **стохастический механизм («мутации»)** **служит источником новой, непредсказуемой информации**, передаваемой данной системой (обычно после соответствующей фильтрации) в каналы связи других систем (получателю текста, в генетический код потомства, тканям развивающегося организма и т. п.).

Если считать, что все 32 буквы алфавита имеют равную вероятность, то подсчитанная по формуле

$$H = - \sum_i p_i \log p_i$$

неопределенность появления каждой буквы составит $H_{\max} = 5$ бит. Мы говорили, что статистические исследования русского языка показали: после учета всех возможных предсказаний (т. е. исключения избыточности) фактическая неопределенность каждой буквы русского текста (H_0) составляет в среднем примерно 1 бит и, таким образом, в среднем на каждую букву текста 4 бита из 5 бит будут избыточными. Другими словами, **80% (4/5) информации, содержащейся в письменных текстах, повторяются неизменно и лишь подтверждают незыблемость грамматических и фонетических правил.**

Как было показано ранее, количество избыточной информации ($I_{и}$) служит одновременно и **мерой сохраняемого системой детерминированного порядка**, выражаемого через $H_{п}$, причем

$$H_{п} = H_{\max} - H_0 = I_{и}.$$

Для дальнейшего анализа соотношения случайных и детерминированных связей А.Е. Седов предложил ввести **коэффициент стохастичности**:

$$G = H_0 / H_{п}. \quad (1)$$

Сопоставляя это выражение с используемой теорией информации выражением для коэффициента избыточности

$$R = 1 - \frac{H_0}{H_0 + H_{п}},$$

нетрудно установить, что введенный коэффициент G связан с коэффициентом избыточности R соотношением

$$G = \frac{1 - R}{R} \quad (2)$$

(сопоставляя величину R с результатами анализа объективного содержания коэффициента избыточности R , отметим, что в данном случае рассматривается коэффициент $R=R_{\text{lim}}$, отражающий объективную упорядоченность систем).

Как следует из вышесказанного, коэффициент стохастичности языка приблизительно равен $G = 1/4$. Это значит, что в данной системе информация является на 80% детерминированной, а на 20% стохастичной. Такое соотношение обеспечивает, с одной стороны, необходимую информативность, лабильность и гибкость, с другой — структурную устойчивость языка. Коэффициент $G = 1/4$ для языка, по-видимому, приближается к оптимальному, обеспечивающему своеобразный гомеостазис, в то время как любая из крайностей (абсолютная детерминированность или максимальная стохастичность) ведет к потере информативности языка. Данное соотношение возникло как результат эволюции языка, выражающейся в отмеченной выше дифференцировке значений вероятностей p_i . С точки зрения интересующего нас соотношения случайных и детерминированных связей процесс дифференцировки p_i есть не что иное, как постепенный переход от связей «чисто случайных» (когда все вероятности одинаковы, $H_0=H_{\text{шах}}$, $H_n=0$, а G бесконечно велико) к «почти детерминированным» связям, когда вероятность одних событий приближается к единице, а других почти исчезает (стремится к нулю). При этом увеличение одних вероятностей осуществляется за счет уменьшения других в силу условия:

$$\sum_i p_i = 1 \cdot$$

Условие

$$\sum_i p_i = 1$$

справедливо для случаев неизменного «алфавита» (числа признаков), так как с точки зрения теории вероятностей такой алфавит представляет полную группу событий.

Экстраполируя этот процесс, легко прийти к заключению, что пределом его является полная детерминированность, соответствующая максимальной дифференцировке значений p_i , когда вероятность одной из букв становится равной единице, а всех остальных — нулю: например, $P_A = 1$, $P_B = P_V = \dots = P_{\text{я}} = 0$. Таким образом, пределом процесса развития языка является текст из одинаковых букв (например, из одних А). Этот случай, которому соответствуют условия

$H_0 = 0$, $H_n = H_{\max}$, $G=0$, есть не что иное, как модель системы, которая, достигнув предела развития, стала полностью детерминированной и вследствие этого утратила возможности вариаций, информативность, способность к дальнейшей эволюции, а следовательно, и жизнеспособность. Единственным условием сохранения существования подобной детерминированной системы является ее узкая специализация. Так, например, текст из одних букв A имеет право на существование в том случае, если в букву A заложен однозначный сугубо специализированный смысл; например, сообщение A может обозначать, что груз прибыл в заранее обусловленное место.

Надо заметить, что и в этом случае полная детерминация не достигается в силу того, что остается некоторая вероятность отрицательного ответа (т. е. продления паузы вместо ожидаемого сигнала A). Учитывая малую вероятность дорожных происшествий, препятствующих своевременной доставке груза, мы приходим к выводу, что в данном случае текст выражается в малознтропийный (т. е. «почти детерминированный») двузначный код (пауза — A). **Предел детерминации такого кода представляет собой регулярное чередование пауз и сигналов A . Это уже не что иное, как закодированный периодический процесс.**

Рассмотренный пример текста из одних букв A соответствует предельной дифференцировке значений вероятностей отдельных букв без учета межбуквенной корреляции. При учете же межбуквенных связей предельной детерминированности системы будут соответствовать повторяющиеся сочетания букв (например, ПАМ, если $p_{\text{ПАМ}} = 1$, а вероятность всех остальных сочетаний равна нулю). При учете связей более высоких порядков (между словами, фразами) пределом упорядоченности будет повторение одной фразы или набора стереотипных фраз. **Общее свойство всех перечисленных предельных случаев заключается в полной предсказуемости сообщений, вытекающей из их повторяемости.**

Эти выводы можно распространить на все «языки», которыми пользуется природа. В частности, безусловный рефлекс — это не что иное, как сохраняемая нервной системой «стереотипная фраза», которой организм отвечает на определенное сочетание внешних сигналов. Подобно тексту из одних букв A , биологический вид, наделенный сочетанием жестко детерминированных рефлексов, инстинктов и наследственных признаков, способен сохранять жизнеспособность только в условиях неизменной среды.

Все системы, которые в результате эволюции достигли полной детерминации, предельно адаптированы, но абсолютно неадаптивны.

В масштабах планетных систем абсолютно стабильной средой

является космос. Именно поэтому в процессе космогонической эволюции распыленная в космосе (энтропийная) материя постепенно превращается в системы планет, **детерминированных настолько жестко, что астрономия с полной гарантией может предречь, что 16 октября 2126 г. в Москве будет наблюдаться солнечное затмение.**

Можно привести и другие примеры, подтверждающие, что в некоторых случаях **в результате эволюции достигается высокая степень детерминации.** И тем не менее утверждение, что **пределом любого развития является узкая специализация, обусловленная полной детерминацией системы, справедливо при одной существенной оговорке: рассматриваемый процесс развития осуществляется на неизменном структурном уровне.**

Действительно, при определении упомянутых величин H_n (I_n) и H_0 письменных текстов учитываются связи между буквами и словами, но не рассматриваются связи между фразами, понятиями и т. д. Поэтому описанный нами процесс развития, пределом которого является текст из одних букв A , следует рассматривать лишь как частный случай — случай, в реальных условиях приводящий к образованию косных теоретических концепций, консервативных (бюрократических) социальных структур, тупиковых биологических эволюционных ветвей и т. п. В более общем случае процессы развития осуществляются по ступеням: **исчерпав резервы мутаций на заданном уровне, система может переходить на уровень более сложной структуры и продолжать развиваться на нем** (при переходе на более высокий структурный уровень вступает в действие закон прогрессивного увеличения разнообразия, рассмотренный ниже).

Помимо ограничения уровня развития в рассматриваемом процессе подразумевалась также неизменность алфавита и стационарность условий отбора (набор правил, сформировавшийся в начале процесса, сохраняет свою силу на всех последующих стадиях).

Все сказанное относительно ограничений вовсе не значит, что наша модель бесполезна. Она «работает», как и любая другая теоретическая концепция, для создания которой необходимо от каких-то реальных условий абстрагироваться полностью, а какие-то условия упростить. В конце концов даже самый сложный процесс развития может быть условно разбит на этапы, **на которых с какой-то степенью приближения можно считать допустимым и условие неизменности «алфавита», и условие стационарности внешней среды.** Несомненно, что **при таком поэтапном подходе будет легче понять процесс в целом, распознать его механизм.**

Одним из примеров, убеждающих в полезности такого подхода, может служить развитие человека. Сейчас общепризнано, что биологическое

развитие человека фактически прекратилось. Оно перешло на более **высокий уровень: развитие мысли и социальных систем.** Сам процесс развития мысли может служить еще одним примером того, как, **достигнув детерминации на заданном уровне, система продолжает развитие на уровне более сложном.** Освоение алгебры для школьника является творческим процессом, но для математика элементарная алгебра — это в основном набор стандартных (детерминированных) правил, служащих вспомогательным инструментом при творческом анализе сложной взаимосвязи изучаемых структур. При этом мысль оперирует с понятиями более «высокого» структурного уровня (функции, функционалы, множества и т. п.), а «школьные» алгебраические представления присутствуют в этих понятиях и оперировании ими как «составные элементы».

Аналогичная закономерность характерна для процесса биологической эволюции: **когда клеточные структуры достигли определенной степени специализации, они перестали изменяться, а основой дальнейшей эволюции стал более высокий структурный уровень — межклеточная взаимосвязь.** В многоклеточных организмах узкая специализация и детерминированность функций таких органов, как сердце или почки, сочетается с широкой многозначностью функций мозга, нервной системы и механизма наследственности. При этом только **благодаря деятельности недетерминированной регулирующей системы, обеспечивающей независимость целого ряда параметров (температуры, давления, состава крови и др.) от условий внешней среды, создается та самая стабильная внутренняя среда, в которой могут нормально функционировать детерминированные и узкоспециализированные органы (для которых эта среда является уже внешней).**

Распространяя эти примеры на другие виды систем, можно сделать следующий вывод: **в сложной многофункциональной системе узкая специализация некоторых ее функций и органов может сосуществовать с недетерминированной гибкостью других ее органов и частей.**

Возвращаясь к языку, это общее положение можно проиллюстрировать наглядным примером: многозначность, информативность и гибкость языка в целом безболезненно уживаются с лаконизмом и однозначностью многих специализированных языков (язык инструкций, уставов, финансовых и экономических отчетов и т. п.).

Предел развития (полная детерминированность) может быть достигнут на любом структурном уровне эволюционирующих систем. Повторение одинаковых букв или слов, стереотипных фраз, мыслей, концепций — все это примеры систем с низкой энтропией, для которых

вероятность одной из комбинаций близка к единице, а всех остальных — к нулю. При этом можно отметить общую закономерность: **если любой из структурных уровней полностью детерминирован, то возможность перехода системы на более высокий уровень полностью исключена.** В самом деле, из одинаковых букв невозможно составить слово, из одинаковых слов — фразу, из одинаковых фраз — концепцию и т. д.

Стереотипность детерминированной системы (т. е. отсутствие вариаций в комбинациях ее элементов) является также причиной, исключающей ее адаптацию к условиям внешней среды.

Несмотря на уменьшение гибкости, детерминированная система может иметь преимущества по сравнению с «многозначной» системой, обладающей большим количеством случайных связей. Эти преимущества проявляются в случае узкого диапазона изменения внешних условий, к которым адаптирована система; **закключаются они в быстроте реакции и однозначности решений специализированных задач.** Действительно, вместо фразы «груз прибыл по назначению» быстрее и проще передавать условный сигнал *A*. Однако стоит лишь измениться условиям (например, изменить место назначения груза), и детерминированная система окажется непригодной: текстом из одних букв *A* сообщить об изменении места доставки нельзя. При отклонении от заданного диапазона условий более жизнеспособной и адаптивной безусловно оказывается система, обладающая большим количеством гибких вероятностных связей. Конкретным подтверждением этого положения могут служить детерминированные и узкоспециализированные инстинкты животных, часто заставляющие их обладателей при изменении внешних условий действовать «невпопад» (так, например, после удаления матки из пчелиного улья пчелы продолжают носить пищу, оберегать несуществующую матку от опасностей и т. п.).

Этот пример является частным проявлением общей закономерности, которую В. И. Сви́дерский и Р. А. Зобов характеризуют так: «Уже очень давно было замечено, что возрастающее приспособление организмов к среде приводит к падению их жизнеспособности — ухудшению конституции, падению выносливости, темпов развития, плодовитости, снижению скоростей биохимических реакций и т. п.». Такова цена, которую приходится платить организм, обладающим высокой степенью детерминации и узкой специализацией функций, достигнутой путем адаптации к условиям стабильной среды.

В узком диапазоне условий общее **преимущество детерминированной программы заключается в том, что такая программа более «экономична», поскольку она избавляет от необходимости совершения большого числа ошибочных проб.** Общую направленность процессов развития к детерминации следует расценивать как стремление

природы избавиться от расточительных проб и ошибок во всех случаях, когда удастся обходиться без них. Однако **при воздействиях сложной, изменчивой внешней среды чрезмерная детерминированность не приносит системе ничего, кроме вреда.**

Узкий специалист способен в частных вопросах разбираться быстрее и эффективнее, чем человек с большой эрудицией и широким кругозором; в то же время он проявляет беспомощность при столкновении со смежными областями или при вторжении в его узкую область научных или технических новшеств (этот вывод подтверждается результатами конкретных информационных оценок. Например, установлено, что опытная стенографистка способна воспринять и зафиксировать до 50 бит информации в секунду, в то время как человек в среднем воспринимает около 5—6 бит. Что же касается глубины восприятия информации, ее рационального отбора и эффективного использования, то тут в выигрыше оказывается не стенографистка, а специалист в данной области).

В противоположность этому знание смежных областей часто является источником случайных связей (ассоциаций), лежащих в основе многих открытий, возникающих на стыке наук (заметим, кстати, что сама теория информации служит тому примером: при решении задачи создания оптимальных систем связи у К. Шеннона возникла ассоциация с выведенной Л. Больцманом формулой физической энтропии, давшая затем неожиданные и удивительные плоды).

В данном случае оптимальным, по-видимому, является сочетание глубокой специализации в одной узкой области знаний с широким охватом основных сведений из ряда других областей. Каждый мыслящий человек на определенном этапе жизни индивидуально решает эту проблему (ее можно назвать «проблемой дилетантизма»), выбирая для себя оптимум распределения времени для совершенствования в узкой специальности и для удовлетворения, более широкого круга интересов (смежные области, искусство, природа, общение с людьми и т. п.).

К соотношению $G_{\text{опт}}$, близкому к оптимальному, приводит эволюция различных систем. Как мы отмечали, именно такое соотношение степени стохастичности и детерминированности обеспечивает функциональную гибкость устного и письменного языка. Благодаря тому, что в процессе эволюции язык не достиг предела детерминизма, а сохранил стохастические свойства, он не утратил своей многозначности, делающей его универсальным средством человеческого общения.

Всякая эволюционирующая система способна сама находить оптимум соотношения детерминированности и стохастичности (точнее, приближаться к нему), поскольку эволюция является результатом диалектического единства и «борьбы» противоположных тенденций — стремления к детерминации и ко всякого рода «мутациям». Благодаря

«мутациям» в языке, как и в гене, возникают и накапливаются новые полезные признаки: литературные неологизмы, новые научные термины, слова, ассимилируемые из иностранных языков, и т. п.

Используя свой личный опыт, каждый из нас имеет возможность проследить своеобразный процесс «детерминизации языка». Как показал К. И. Чуковский, наиболее творческое отношение к образованию слов и построению фраз наблюдается в период освоения разговорной речи в возрасте от двух до пяти лет. Действуя методом проб и ошибок, ребенок образует всевозможные, часто совсем нелепые слова и сочетания слов. При этом порой возникают и весьма любопытные словообразования, удовлетворяющие формальным правилам разговорного языка. Вот некоторые примеры: песок *песучий*; обезьяны *уклюжие*; *мазелин*, *вертилятор*, *копатка*, *строганок*, *колоток*; *отпомнил*, *распонял*; *вык*, *вык и привык*; *отмахиваться* (отмахиваться от мух); *луксус* (лук в уксусе). Раз на ногах — *ногти*, то на руках — *рукти*; раз гуси ходят *гуськом*, значит утки — *утьком*. Множество других тщательно собранных и систематизированных примеров можно найти в упомянутой нами замечательной книге К. И. Чуковского. По окончании периода освоения разговорной речи человек перестает заниматься словообразованием и в дальнейшем пополняет свой речевой арсенал только путем заимствования общепринятых (детерминированных) выражений и слов.

В более позднем возрасте (примерно от 10 до 25 — 30 лет) происходит аналогичный процесс «детерминизации» представлений, понятий и взглядов. **Исключением из этого правила являются ученые и художники слова, которые сохраняют нестандартность мышления или творческое отношение к слову на всю жизнь.** Именно благодаря этому свойству отдельных незаурядных умов появляются на свете такие неожиданные оригинальные теории, как теория эволюции Дарвина или теория относительности Эйнштейна. Тем же свойством творческой личности обусловлено создание выдающихся произведений искусства, поражающих оригинальностью взглядов их авторов и неожиданностью найденных ими выразительных средств (в частности, таких образных неологизмов, как «стусhevаться» — Ф. Достоевский, «обиностраниться» — Н. Гоголь, «в смокинг вштопорен», «отношение плевое» — В. Маяковский, «поступь надвьюжная» — А. Блок). Как в том, так и в другом случае — то есть и при абстрактном и при образном мышлении — залогом продуктивности творчества является рассмотренное нами условие $G = G_{\text{opt}}$.

Чтобы показать, что введенный коэффициент $G = H_o/H_n$ позволяет, хотя бы в принципе, производить сравнительную оценку художественных образов, рассмотрим крайние случаи соотношений случайных и детерми-

нированных связей на уровне слов. Например, при поэтическом творчестве случаю $G=0$, $H_o=0$, $H_n=H_{\max}$ соответствуют литературные штампы: «синее небо», «ясный взгляд» и т. п. Другому крайнему случаю ($G=\infty$, $H_o = H_{\max}$, $H_n = 0$) соответствует равная вероятность любых сочетаний слов. Это значит, что на каждое осмысленное словосочетание приходится миллионы либо бессмысленных («умный камень», «вкусный деготь» и т. п.), либо вовсе не согласованных грамматически сочетаний слов (вроде: «громко гвоздь бежала над светлое»). И только при оптимальных значениях параметра G (т. е. при $G \cong G_{\text{опт}}$) возникают яркие, творческие литературные образы вроде «флейты-позвоночника» или «страны березового ситца». Обобщая рассмотренные примеры, можно сделать вывод, что крайнему абстракционизму или формализму в искусстве соответствует $G \rightarrow \infty$, а полному следованию традиционным формам $G \rightarrow 0$. Объективным решением спора между представителями двух этих крайних направлений являются художественные произведения, соответствующие $G_{\text{опт}}$.

Убедительной иллюстрацией рассмотренных закономерностей может служить существующее в некоторых странах направление сценического искусства, получившее название «театр абсурда». Основным приемом драматургии театра абсурда является такое построение действия и диалога, при котором каждый из персонажей, не вникая в смысл высказываний партнеров, говорит о своем. В принятых нами обозначениях подобная ситуация характеризуется увеличением коэффициента стохастичности G на уровне слов и фраз. Именно это условие порождает абсурдность коллизий, характерных для сюжетов театра абсурда. В некоторых случаях такой прием может служить средством сильных художественных воздействий и даже философских обобщений. Его можно расценивать как художественную гиперболизированную форму постановки проблемы коммуникабельности человека в наш сложный и динамичный век. Однако злоупотребление этим сценическим приемом, выражаемое условием $G \rightarrow \infty$, приводит к тому, что зритель перестает понимать смысл происходящего на сцене и, не улавливая взаимосвязи событий, теряет к нему интерес. Аналогичная ситуация возникает в изобразительном искусстве в случае, если художник, стремящийся к абстракционизму, перестает доносить до зрителя взаимосвязь избранных им изобразительных средств, красок и форм.

6.3. 3. Общие свойства эволюционных процессов

На основе рассмотренных закономерностей и с учетом введенных

выше обозначений можно дать несколько дополнительных важных определений.

Прогрессивным процессом следует считать процесс, соответствующий условию $G \rightarrow G_{\text{opt}}$, независимо от того, растет ли при этом число случайных связей или увеличивается детерминированность системы. К числу прогрессивных процессов с увеличением детерминированных связей относятся все процессы накопления информации. Из проделанного нами анализа следует, что эти процессы остаются прогрессивными лишь до тех пор, пока выполняется условие $G > G_{\text{opt}}$. В случае, когда $G < G_{\text{opt}}$, прогрессивным является процесс увеличения случайных связей, происходящий за счет разрушения связей детерминированных (при этом $G = H_0/H_{\text{п}}$ возрастает). Примером таких процессов могут служить революционные взрывы, разрушающие детерминированные связи социальных структур.

Процесс, соответствующий условию $G \rightarrow \infty$, можно назвать деградацией. Семантика этого термина полностью соответствует сущности данного процесса: исчезновение различий (градаций) при достижении состояния, соответствующего условию $H_0 = H_{\text{max}}$ (указанное соответствие возникло не случайно. Первоначально под термином «деградация» подразумевалось исчезновение градаций макроскопических признаков в структуре систем, но в ходе дальнейших исследований стало очевидным, что деградация макроструктуры обусловлена деградацией микроструктуры, т. е. условием $H_0 = H_{\text{max}}$).

Процесс, описываемый условием $G \rightarrow 0$ (детерминированный текст и т. п.), лучше всего передать термином вырождение.

Заметим, что обычно термины «деградация» и «вырождение» использовались как синонимы. Теперь выясняется, что их целесообразно применять для обозначения двух полюсных состояний эволюционирующих систем. Вместе с тем смысл их не так уж различен: система в стадии вырождения теряет способность адаптации и потому легко деградирует (разрушается) при изменениях условий среды. Если от стадии деградации к стадии вырождения ведет долгий путь эволюции, то путь от вырождения к деградации представляет собой, как правило, лишь короткий скачок (рис..2).

⊙ Д --- деградация ⊙ В --- вырождение

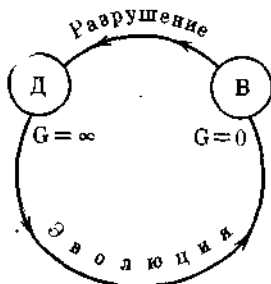


Рис. 1.

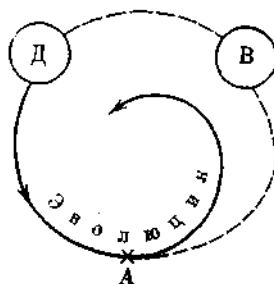


Рис. 2

Для поддержания всеобщего равновесия природа «предусмотрела» и возможность обратных скачков. Такие скачки осуществляются в уже рассмотренном нами превращении тепловой энергии в энергию излучений. Это превращение происходит путем квантования энергии, в результате которого энтропийное тепловое движение приобретает определенную степень детерминации, выражающуюся в волновом характере излучений. (Предельным случаем является монохроматическое излучение, представляющее собой жестко детерминированный периодический процесс.) В обозначениях рис.1 данному процессу соответствует скачок из состояния Д в состояние В.

Как следует из предыдущего анализа, цикл, изображенный на рис. 1, может осуществляться лишь на неизменном структурном уровне эволюционирующих систем. При переходе на более высокий уровень «порочный круг», изображенный на рис. 1, разрывается (точка А на рис. 2) и кривая развития превращается в эволюционную спираль.

Представленная на рис. 2 схема может служить наглядным опровержением метафизических концепций, стремившихся доказать, что миру в конечном счете должна быть присуща одна из крайностей: либо провозглашенная Лапласом полная детерминация (условно обозначенная на рис. 2 буквой В), либо предрекаемая многими учеными (включая Н. Винера тепловая смерть (буква Д на рис. 2).

В реальном мире системы, достигшие этих крайних состояний, являются не правилом, а исключением: полной детерминации (В) эволюционным путем достигают едва ли не одни лишь планетные системы, а полной стохастичности (Д) — находящийся в термодинамическом равновесии, да притом еще и идеальный, газ (в реальных газах приходится учитывать взаимодействие (т. е. корреляцию траекторий) молекул, приводящее к уменьшению

энтропии. В идеальном газе Максвелла реальные взаимодействия молекул заменены моделью взаимодействия упругих шаров).

Большинство же реальных систем достигает гомеостаза, находясь в промежуточном состоянии между двумя полюсами, обозначенными на рис. 1 и 2 через В и Д. **Это состояние, при котором в системе сохраняются и детерминированные, и стохастические связи, характеризуется введенным Е.А.Седовым коэффициентом стохастичности G .**

Теперь становится понятным, почему в возникшем еще в античные времена и длящемся 2500 лет споре о соотношении необходимого и случайного чаши весов попеременно склонялись то в пользу В, то в пользу Д. В этом проявлялась диалектика самого процесса познания мира. **Чтобы выявить тот «компромисс» между необходимостью и случайностью, которого достигают самоорганизующиеся системы, недостаточно было не только самих понятий «необходимого» и «случайного», но даже и их вероятностных количественных мер,— нужно было сначала выработать такие интегральные характеристики порядка и стохастичности, как меры количества информации и энтропии. Лишь благодаря им становится возможной оценка соотношения случайного и необходимого — и в реальных гомеостатических и эволюционных процессах, и в их теоретическом отражении в науке.**

Поскольку все существующие в мире естественно развивающиеся системы исследуются в течение ограниченных временных интервалов, а процессы биологической эволюции длятся сотни тысяч, а порой и миллиарды лет, **мы наблюдаем, как правило, не процесс эволюции, а лишь его результат.** Однако для уяснения диалектики случайных и детерминированных связей необходимо выявить динамику эволюционных процессов. Эффективными инструментами такого анализа опять-таки являются используемая теорией информации функция $\sum_i p_i \log p_i$ и вычисляемый с ее помощью коэффициент стохастичности $G = H_0/H_n$. При этом выражаемые через H_0 и H_n случайные и детерминированные связи предстают как неразрывно связанные противоположные сущности, о которых говорят: «...ум человека не должен брать эти противоположности за мертвые, застывшие, а за живые, условные, подвижные, превращающиеся одна в другую».

Происходящее в ходе эволюционного процесса изменение отношения H_0/H_n , выражаемое уменьшением параметра G , отражает именно эту подвижность, т. е. процесс превращения одной противоположности (стохастичности), в другую (детерминированность).

Представим себе достигшую определенной стадии развития систему, у которой в данный момент соотношение случайных и детерминированных связей составляет $G=H_o/H_n$. Как следует из предыдущих рассмотрений, величина H_n характеризует степень упорядоченности существующего в системе движения и равна количеству информации, содержащейся в *наборе правил*, регламентирующих этот порядок (грамматических и фонетических правил, наследственных признаков и т. п.). Величина H_o характеризует количество «импровизаций» в пределах, дозволенных всеми правилами, которым соответствует величина H_n . Появившиеся в результате мутаций новое слово или новый наследственный признак в генетическом коде должны, с **одной стороны, удовлетворять всем установленным ранее правилам, а с другой — отличаться от всех возникших ранее «слов».**

На начальном этапе развития, когда H_o велико, а H_n мало (т. е. при больших G), набор «правил» настолько мал, что удовлетворить им весьма несложно. Поэтому число комбинаций «букв» заданного «алфавита» (или, пользуясь термином М. Планка, **число комплексий**), удовлетворяющих всем правилам, достаточно велико. **Это значит, что для начальной стадии развития характерно ускоренное образование разновидностей несложных форм.** Именно так протекает проанализированный К. И. Чуковским процесс языкового творчества у детей. Вопрос, сохранит ли система новые признаки того или иного мутанта на всех этапах развития, решается взаимодействием «система — среда». В числе разновидностей, возникающих в ходе взаимодействия, всегда есть и такие, которые несут в себе не только признаки, предусмотренные набором ранее сформировавшихся правил, но и ряд новых. Это и есть те новые слова или биологические особи, которым вместе со всеми иными мутантами предстоит быть признанными или отвергнутыми в ходе отбора.

Подводя итог сказанному, мы приходим к выводу, что на начальной стадии за счет больших значений H_o формообразование осуществляется быстро и темпы развития достаточно велики. В ходе развития H_o падает, а H_n растет. Следует подчеркнуть, что при неизменном числе разновидностей элементов системы (т. е. при неизменном «алфавите») выполняется условие: $H_o + H_n = H_{\max} = \text{const}$ (например, в случае алфавита из 32 букв письменный текст независимо от степени его детерминации (т. е. при любых H_n и H_o) удовлетворяет условию: $H_o + H_n = H_{\max} = 5 \text{ бит} = \text{const}$). Это значит, что увеличение H_n приводит к уменьшению $H_o = H_{\max} - H_n$, а это способствует еще более быстрому уменьшению отношения $G = H_o/H_n$, в котором числитель падает, а знаменатель растет. По мере уменьшения H_o мутаций становится меньше, а благодаря увеличению H_n все меньшее число

мутантов удовлетворяет набору всех «правил». Следовательно, с **уменьшением параметра G все меньше и меньше образуется разновидностей новых слов или наследственных признаков, темп развития падает.** Пределом этой тенденции является рассмотренная выше детерминированная система, в которой мутации и формообразование прекратились совсем (текст из одних букв A , планетная система и т. п.)

До сих пор речь шла о диалектическом взаимодействии случайных и детерминированных связей **внутри эволюционирующей системы.** Теперь попытаемся с тех же позиций рассмотреть **взаимодействие между системой и средой.** Для облегчения рассуждений рассмотрим процесс взаимодействия «система — среда» на упрощенной модели, в которой один рассматриваемый признак приспосабливается к одному из регулирующих параметров среды, причем распределение вероятностей признака и регулирующего параметра описывается нормальным законом.

Для изменяющегося по случайному закону (мутирующего) признака среда является своего рода «статистическим фильтром», «полоса пропускания» которого определяется дисперсией кривой распределения вероятностей значений регулирующего параметра среды ($\sigma_{рп}$) (эту «полосу пропускания» В. А. Геодакян называет «шириной экологической ниши по данному фактору среды»). В предельном случае, когда $\sigma_{рп} = 0$, возникает отбор признака, который А. Л. Тахтаджян называет «матричным». При таком отборе среда как бы штампует идентичные признаки систем.

Другой предельный случай выражается условием, когда $\sigma_{рп}$ примет «бесконечно большое» значение. В этом случае «полоса фильтра» неограниченна, следовательно, никакого отбора не осуществляется, система с любой дисперсией по данному признаку может находиться в равновесии со средой. Все промежуточные случаи, удовлетворяющие условию $0 < \sigma_{рп} < \infty$, соответствуют процессу **эмергентного (созидательного)** отбора мутирующих признаков систем.

Если пределы мутаций признака ($\sigma_{рп}$) превышают дисперсию регулирующего параметра ($\sigma_{мп}$), то часть мутантов будет не соответствовать указанному параметру, и, следовательно, произойдет их отбраковка (естественный отбор). Противоположное условие ($\sigma_{мп} < \sigma_{рп}$) соответствует случаю, когда признак системы настолько детерминирован, что возможные пределы его мутаций не обеспечивают необходимого соответствия во всем диапазоне изменений регулирующего параметра.

Оптимальным условием адаптации является условие $\sigma_{мп} = \sigma_{рп}$.

Для иллюстрации этих положений рассмотрим пример. Научная школа, признающая лишь те идеи, которые соответствуют определенным

традициям, является «узкополосным фильтром», осуществляющим матричный (точнее, тяготеющий к матричному) отбор. Система установившихся взглядов — это и есть та самая «матрица», которая в данном случае детерминирует отбор. Для творческого (эмергентного) отбора научная среда должна быть достаточно восприимчива и лабильна, чтобы захотеть и суметь вникнуть в суть даже совсем непохожих на прежние «сумасшедших» идей.

Теперь рассмотрим другой крайний случай: научный кворум готов принять самые неожиданные идеи, но мысли научных работников настолько детерминированы (скажем, влиянием прежней научной школы), что ни один из них не способен предложить каких-либо свежих идей. В этом случае диапазон предлагаемого научным сотрудником творческого поиска уже тех требований, которые предлагает ему научная среда. Среда отвергает такого сотрудника как неспособного. Точно так же естественная среда отвергает (уничтожает) слишком детерминированный биологический вид, если в течение нескольких поколений он не способен путем мутаций «нащупать» все признаки, удовлетворяющие диапазону изменений условий среды.

Если пределы мутаций признаков (или научных идей) совпадают с диапазоном критериев их отбора, то процесс осуществляется без излишних потерь.

Этому случаю соответствует условие $\sigma_{мп} = \sigma_{рп}$. Очевидно, что дополнительным условием продуктивности творческого процесса является оптимальный выбор величины $\sigma_{рп}$, т. е. установление разумных пределов отбора неожиданных новых идей.

Все приведенные примеры свидетельствуют о том, что в результате отбора распределение вероятностей *мутирующих признаков* в конечном счете «вписывается» в кривую распределения вероятностей *внешних условий*. Поскольку определяющие значения коэффициента G величины H_o и H_n так же, как и дисперсии $\sigma_{рп}$ и $\sigma_{мп}$, являются функциями распределения вероятностей p_i , можно предполагать, что общим условием оптимальной адаптации (гомеостазиса) системы является равенство коэффициентов стохастичности системы и среды, то есть условие:

$$G_{\text{системы}} = G_{\text{среды}} = G_{\text{орт.}}$$

Справедливость данного соотношения подтверждается анализом процессов адаптации, которые в самом общем виде могут быть также представлены как процессы дифференцировки значений p_i функции $\sum_i p_i \log p_i$.

Представим себе систему, обладающую возможностью выбирать один из n возможных ответов (реакций) на воздействия внешней среды. В

исходном состоянии система способна отвечать на любые воздействия лишь выбранной наугад реакцией i ($i = 1, 2, \dots, n$). Это значит, что вероятности всех ответов системы p_i будут равны. Как было показано в предыдущем пункте, этому случаю соответствуют условия :

$$H_o = H_{\max}, H_{\Pi} = 0, G_{\text{системы}} = \infty.$$

В результате обучения система приобретает способность дифференцировать ответы, варьируя их в зависимости от характера воздействий среды (в более общем случае — от сочетания этих воздействий). Примером подобного обучения может служить выработка условных рефлексов, позволяющая животным почти безошибочно выполнять устные распоряжения дрессировщика, осуществлять выбор одного из многих предметов и т. п. Как было установлено П. К. Анохиным, многие реакции имеют упреждающий характер. Это значит, что в результате обучения система приобретает способность на основании испытанных воздействий выявить присущую этим воздействиям корреляцию, «предвидеть» наиболее вероятные последующие воздействия и заранее давать соответствующий ответ. Таким образом, *в ходе обучения устанавливаются вероятностные связи между воздействиями среды и ответными реакциями адаптирующихся систем*, т. е. осуществляется дифференцировка вероятностей реакций p_i , причем наибольшей вероятности воздействий соответствует наибольшая вероятность ответов.

Рассмотренная закономерность процесса обучения может служить основой широких обобщений, поскольку *процесс биологической эволюции включает в себя «обучение» поколений оптимальному поведению в условиях данной среды.* Так же, как всякий процесс обучения, процесс биологической эволюции обусловлен накоплением информации, выражающимся математически как дифференцировка значений p_i функции $\sum_i p_i \log p_i$.

Обобщая рассмотренные закономерности на все случаи адаптации, мы приходим к выводу, что всякий *процесс адаптации может быть представлен как процесс дифференцировки вероятностей различных реакций системы, соответствующих дифференцировке вероятностей различных воздействий среды.* Указанное соответствие будет выражаться равенством значений $G_{\text{(системы)}}$ и $G_{\text{(среды)}}$, вычисляемых с помощью функции $\sum_i p_i \log p_i$. Частным случаем является условие $G_{\text{(системы)}} = G_{\text{(среды)}} = 0$, которое соответствует рассмотренным выше примерам полной детерминации системы в результате ее адаптации к условиям детерминированной стабильной среды.

Исследуемые закономерности процессов адаптации, приводящие к той

или иной степени детерминации внешних и внутренних связей адаптирующихся систем, опровергают выдвинутую Н. И. Кобозевым гипотезу о существовании наряду с информацией (негэнтропией) некой «антиэнтропии» («энтропийного вакуума»), будто бы необходимой для возникновения живых организмов и осуществления детерминированных процессов мышления (формально-логических операций). Согласно предположению Н. И. Кобозева, «энтропийный вакуум» создается благодаря участию в этих процессах гипотетических, обладающих ничтожно малой плотностью сверхлегких частиц.

Убедительным опровержением выдвинутой Н. И. Кобозевым концепции может служить практика создания электронных машин. В этих машинах удалось осуществить лишённые энтропии формально-логические операции, не прибегая к помощи «энтропийного вакуума» сверхлегких частиц (сказанное отнюдь не исключает возможности участия в психических явлениях и процессах мышления таких малоисследованных форм энергии, как нейтринные или гравитационные поля. Можно предполагать, что они играют важную роль при возбуждении, торможении и передаче информации (в частности, телепатической). Что же касается энтропии, то она, как мы убедились, может уменьшаться за счет воздействия и других видов полей (например, электромагнитного)).

При этом справедливо подчеркиваемая Н. И. Кобозевым энтропийность участвующих в этих процессах молекул и элементарных частиц (электронов, фотонов или магнонов) «преодолевается» путем перехода на макроскопический уровень, т. е. на уровень специальных электронных, оптических или магнитных устройств. На этом уровне жестко детерминированные связи обеспечиваются благодаря нелинейным (пороговым) свойствам указанных элементов, каждый из которых либо открыт (состояние 1 или «да»), либо закрыт (состояние 0 или «нет»). **Переход элемента из одного состояния в другое соответствует элементарной операции отрицания двужначной логики, а совокупность операций, реализуемых такого рода элементами, позволяет получить жестко детерминированные формально-логические преобразования информации, т. е. «преодолеть» энтропийность участвующих в этих процессах микрочастиц.** При этом, в противовес утверждениям Н. И. Кобозева, энтропия микродвижения компенсируется не «антиэнтропией сверхлегких частиц», а **интегральным эффектом воздействия** на пороговые устройства потоков обычных микрочастиц (электрических токов, магнитных потоков, световых лучей).

Пороговые устройства не реагируют на шумовые флуктуации (т.

е. на энтропию), а изменяют свое состояние (срабатывают), когда **суммарная энергия всех частиц потока превысит определенную наперед заданную величину**. Нет никаких оснований утверждать, что на макроскопическом уровне коры головного мозга (т. е. на уровне нейронных сетей) без вмешательства «антиэнтропии сверхлегких частиц» принципиально неосуществимы те самые формально-логические операции, которые реализованы в современных ЭВМ.

Гораздо труднее предусмотреть в программах электронных машин «нарушения» формально-логических связей с целью получения эвристических решений. Для этого оказалась необходимой не «антиэнтропия», а обычная энтропия, вопрос только в том, каким образом и в какой пропорции ее «подмешать». **В той же степени необходимой является энтропия и для процессов эвристического мышления, протекающих в человеческом мозге.** А поскольку эвристическое мышление безусловно более сложное и ценное, чем формально-логическое, теряет смысл выдвигаемый Н. И. Кобозевым тезис о безэнтропийности процессов мышления (в отличие от обладающих энтропией процессов, которые Н. И. Кобозев называет «процессами информации») и произвольно низводит в некий более низкий разряд (вместе с тем следует отметить, что высказанные в адрес работы Н. И. Кобозева критические замечания не умаляют многих ее достоинств, в частности **оригинального и четкого анализа векторизации броуновских процессов в связи с соотношением связанной и свободной энергии, информации и энтропии**).

Физический смысл вводимой Н. И. Кобозевым отрицательной энтропии остается неясным. Н. И. Кобозев определяет отрицательную энтропию как потенциальную возможность полной самоупорядоченности и самоорганизации систем. Прделанный нами анализ, напротив, показывает, что такой потенциальной возможностью обладают все адаптирующиеся системы с положительной энтропией, причем степень достигаемой ими детерминации и соответствующего уменьшения энтропии определяется степенью детерминации воздействующих на них факторов внешней среды.

Конкретной иллюстрацией общих закономерностей взаимодействий системы с внешней средой, приводящих к соотношению $G_{(системы)} = G_{(среды)}$, могут служить процессы эволюционных преобразований языка. Наибольшей степени детерминации язык достигает в периоды стабилизации социальных условий, тогда как в периоды общественных катаклизмов наблюдается наибольшая мобильность народного языка. Этот пример свидетельствует о том, что увеличение коэффициента стохастичности языка как системы является следствием увеличения коэффициента стохастичности среды.

Противоположным примером является процесс специализации языка в какой-либо узкой области применения. В применении к научному языку этот процесс М. Б. Воробьева описывает так: «Дело заключается не только во введении большого числа терминов, как каких-то новых образований, а в систематическом отборе из общелитературного языка определенных слов, в их частой повторяемости и в постепенном сокращении синонимии. Иными словами, характерной чертой развития лексики научного языка является прогрессирующее ограничение «общего словаря».

С позиций теории информации отбор и частая повторяемость определенных слов означает увеличение их вероятностей, а постепенное сокращение синонимии и прогрессирующее ограничение «общего» словаря — уменьшение вероятностей постепенно исключаемых из обращения слов. Таким образом, в процессе специализации происходит дифференцировка значений p_i , приводящая к уменьшению величины

$$\sum_i p_i \log p_i$$

и к детерминизации структуры языка на уровне слов. Как было показано п. 6.2, пределом этой тенденции является полное вырождение текста (повторение одинаковых слов).

Все рассмотренные примеры свидетельствуют о том, что всякий процесс эволюции — это процесс изменения соотношения случайных и детерминированных связей внутри системы, удобным критерием которого является коэффициент стохастичности G . Однако, используя этот коэффициент, необходимо учитывать, что его применение имеет ряд существенных ограничений. Одним из таких ограничений является конечность рассматриваемого набора признаков (алфавита) и вытекающее отсюда условие дискретного изменения признаков. Необходимость данного ограничения становится явной, если учесть, что значение H_{\max} , определяемое как

$$H_{\max} = - \sum_i p_i \log p_i \text{ при } p_i = \frac{1}{n},$$

неограниченно возрастает с увеличением n (как $\log n$).

Пределом является непрерывное изменение признака, при котором величина H_0 может быть вычислена по заданной кривой распределения вероятностей, с помощью формулы

$$H_0 = - \int_{-\infty}^{+\infty} W(x) \log W(x) dx,$$

но величины H_{\max} и $H_{\text{п}} = H_{\max} - H_0$ становятся бесконечно

большими, поэтому их вычисление теряет смысл (смысл условия $H_{\Pi} \rightarrow \infty$ при $H_{\max} \rightarrow \infty$ состоит лишь в том, что по сравнению с бесконечным беспорядком любой порядок бесконечно велик).

В этом случае критерием эволюционных преобразований могут служить только изменения непрерывных кривых распределения вероятностей и определяемых с их помощью величин H_o . Как отмечалось выше, рассмотренная нами модель взаимодействия эволюционирующего признака и регулирующего параметра среды является упрощенной. **В реальных процессах эволюция каждого признака обусловлена не одним регулирующим параметром, а совокупностью параметров внешней среды. И наоборот, приспособление к изменению каждого из параметров среды обычно требует изменения целого комплекса признаков эволюционирующих систем.**

Кроме того, во всех рассуждениях подразумевалась в неявной форме жесткая однозначная связь между изменениями признака и параметра среды. Тем самым частично дискредитировалась роль случайных связей в процессах адаптации систем. Между тем **адаптация достигается только при том условии, что системе предоставлена определенная степень «свободы выбора» реакций на изменения параметров внешней среды.** Это значит, что каждому значению управляющего параметра может соответствовать не одна, а несколько комбинаций признаков адаптирующихся систем. Для учета всех этих факторов помимо теории вероятностей необходимо использовать и аппарат теории множеств, и теорию графов, и топологию, и теорию игр. Однако, несмотря на усложнение аппарата и множество еще не решенных проблем, в любом случае будет полезной методология, основанная на анализе соотношения случайных и детерминированных связей путем анализа распределения вероятностей и вычисления значений H_o , H_{Π} и $G = H_o/H_{\Pi}$.

Наряду с задачей теоретического исследования эволюционных моделей и их приближения к реальным процессам возникает необходимость эмпирического подтверждения выявленных на данном пути взаимосвязей и свойств. И в этом случае **главные трудности обусловлены сложностью и многозначностью связей между признаками системы и параметрами среды.** Комплексный характер взаимодействий реальных объектов практически исключает возможность вычленения в эксперименте какой-либо одной связи типа «признак системы — параметр среды». Поэтому приходится ограничиваться исследованием упрощенных моделей с помощью ЭВМ.

Определение значений G и G_{opt} в конкретных эволюционных процессах представляет не только теоретический, но и практический

интерес. Зная эти параметры, можно производить количественную оценку своего рода «**эволюционного потенциала**»

$$P_3 = G_{\text{opt}} - G,$$

показывающего, **насколько далека система от оптимальной адаптации в заданных условиях внешней среды**. Если предположить, что рассмотренное выше условие $G_{\text{opt}} = G_{\text{среды}}$ во всех случаях является справедливым, то задача определения G_{opt} всякой эволюционирующей системы сведется к определению **коэффициента стохастичности** тех или иных **параметров внешней среды**.

6.3.4. Общие статистические закономерности эволюции

Насколько важным и актуальным является рассматриваемый в данном разделе вопрос о соотношении случайных и детерминированных связей, можно судить по высказываниям авторов ряда работ. Так, например, А. С. Кравец отмечает, что «проявление активности невозможно в условиях жесткой организации сложной системы, когда состояние любой подсистемы необходимым образом связывается с состоянием всех других подсистем. Функционирование такой жесткой системы возможно лишь по определенной изначальной программе, когда функции всех подсистем строго «расписаны» и взаимосвязаны. Любое отклонение от принятой программы ведет к разрушению системы. Автономная организация позволяет, наоборот, за счет активного выбора наилучшей стратегии максимально использовать ресурсы каждой подсистемы, быстрее решать поставленные задачи». **«Мир,— заключает А. С. Кравец, — предстает как процесс постоянной борьбы противоположностей: изменчивости и устойчивости, связности и автономности, порядка и беспорядка, где каждая сторона может одерживать победы в некоторое время в одном месте и проигрывать в другое время и в другом месте».**

Примерно в том же аспекте поднимается этот вопрос В. В. Налимовым и З. М. Мульченко: «Вероятно, один из самых важных и интересных вопросов кибернетики можно сформулировать так: **каким должно быть соотношение между самоорганизацией и централизованным управлением в большой системе для того, чтобы она была жизнеспособна**. С этих позиций интересно было бы проанализировать существующие сейчас большие системы — технические, биологические,

социальные».

Отмечая одну из основных тенденций научного мировоззрения, определяемую термином «системная ориентация», Э. Г. Юдин приходит к выводу, что «для науки в целом характерен переход от представлений о структуре как о том, что однозначно детерминирует, предписывает тот или иной ход событий, к представлениям о ней как о совокупности ограничений, накладываемых на «степени свободы» отдельных элементов системы,—ограничений, возникающих вследствие организованности элементов в рамках целого».

Сопоставив эти высказывания, нетрудно прийти к заключению, что речь здесь идет не о чем ином, как о соотношении случайных и детерминированных связей. В самом деле, «автономия», или определенная «степень свободы», элементов системы может быть обеспечена только наличием вероятностных связей, исключающих жесткую детерминацию. И наоборот, жесткая детерминация системы исключает автономию ее элементов. Так, например, Ю. В. Сачков определяет жестко детерминированную систему как систему, в которой «поведение любого объекта... определяется поведением всех остальных объектов, и притом взаимно однозначным образом... Схема жесткой детерминации отрицает какую-либо автономию в поведении элементов в рамках системы».

В несколько иных формулировках тот же вопрос о соотношениях случайности и детерминации в связи с проблемой возникновения жизни затрагивает Г. Патти. Он предлагает «отнести проблему возникновения жизни в мир физических законов и поместить ее между макроскопическими механическими системами, где возможна полная спецификация сил и динамических переменных, и статистическими системами с характерной для них *неполной спецификацией состояний*».

Отмечая, что случайные (вероятностные) связи обеспечивают относительную независимость элементов и частей (подсистем), Ю. В. Сачков приходит к заключению: «Где нет этой независимости подсистем, где все жестко определено, там по существу нет и самого управления в современной постановке этой проблемы, точнее, там может идти речь лишь о простейшем виде управления, основанном на культе приказа и его слепого исполнения». Поэтому «наиболее последовательными и математически разработанными теориями, учитывающими гибкость внутренних связей соответствующих объектов исследования, являются те, которые в математическом отношении опираются на теорию вероятностей». «Чтобы сложная система могла успешно и целенаправленно функционировать, между ее компонентами должна быть согласованность, включающая в значительной мере и жесткость связей. Вместе с тем компоненты

систем обладают определенной независимостью (автономностью), которая, так сказать, по самому определению отрицает жесткость связей. Принцип структурной организации сложных систем, включающий строгую зависимость между элементами и их независимость, более широк и общ, чем принцип, основывающийся на одной лишь простой однозначной зависимости. **Раскрытие взаимоотношения зависимости и независимости (автономности) лежит в основе познания сложных систем.** Точнее говоря, зависимости (связи) не есть нечто такое, что может просто быть или не быть. Основной факт состоит в том, что они имеют внутренние градации по своей интенсивности, обладают большей или меньшей «степенью наличности», а раскрытие диалектики взаимосвязей реального мира включает в себя и опирается на анализ взаимопроникновения предельных (противоположных, взаимоисключающих) случаев». К сказанному остается лишь добавить, что «**степень наличности» связей и «градации» их «интенсивности» определяются значениями соответствующих условных вероятностей, а анализ «взаимопроникновения противоположных, взаимоисключающих случаев», как было показано в предыдущих пунктах, может производиться с помощью функции**

$$\sum_i p_i \log p_i.$$

Важность анализа соотношений случайных и детерминированных связей неоднократно подчеркивал Н. Винер. В частности, он писал: «Мы должны рассматривать организацию как нечто обладающее связью между отдельными организованными частями, причем взаимосвязь эта не единообразна. Связи между одними внутренними частями должны играть более важную роль, чем между другими,— иными словами, связи внутри организации не должны быть абсолютно устойчивыми, чтобы строгая определенность одних ее частей не исключала возможность изменения каких-то других. Эти изменения, различные в различных случаях, неизбежно носят статистический характер, и поэтому только статистическая теория обладает достаточной гибкостью, чтобы в своих рамках придать понятию организации разумный смысл». Непосредственную связь такого подхода с методами диалектики подчеркивает Ю. В. Сачков: «Весьма существенно, что в развитии общего учения о сложных управляющих системах... важнейшее значение приобрели проблемы диалектики, и прежде всего такие, как взаимопроникновение жестко- и аморфно-пластичного начал в структуре материальных систем, субординация и координация, широкая автономность систем и гармония целого, сохранение и коренное

обновление...».

При сопоставлении всех приведенных высказываний обращает на себя внимание, с одной стороны, общность взглядов, а с другой — терминологический разнобой. Например, присущие сложным системам **вероятностные связи** именуются и «степенями свободы отдельных элементов» (Э. Г. Юдин), и «основой самоорганизации» (З. М. Мульченко и В. В. Налимов), и «автономностью организации» (А. С. Кравец и Ю. В. Сачков), и «неполной спецификацией состояний» (Г. Патти), и «возможностью изменений» (Н. Винер), и «аморфно-пластичным началом» (Ю. В. Сачков). Не менее разнообразно определяются и **детерминированные связи**: «устойчивость, определенность» (Н. Винер), «жесткая организация» (А. С. Кравец), «централизованное управление» (З. М. Мульченко и В. В. Налимов), «однозначная детерминированность», «ограничение вследствие организованности элементов в рамках целого» (Э. Г. Юдин), «фиксированные ограничения разнообразия» (А. Л. Тахтаджян), «полная спецификация состояний» (Г. Патти), «гармония целого» (Ю. В. Сачков).

Сопоставление используемой различными авторами терминологии представляет для нас двоякий интерес. Во-первых, оно является наглядной иллюстрацией начальной стадии развития научных концепций, когда согласно рассмотренным в предыдущем пункте закономерностям H_0 велико, а H_n мало, т. е. той стадии, когда всяческие мутации (в том числе и терминологические) возникают особенно интенсивно. Во-вторых, сопоставление приведенных формулировок с анализом, проведенным в предыдущем пункте, показывает, что применение таких емких и точных терминов, как **детерминированность и стохастичность, и учет их соотношения с помощью коэффициента стохастичности G** позволяют существенным образом упорядочить происходящее в данном направлении движение научной мысли, т. е. согласно введенным нами обозначениям, **увеличить H_n за счет уменьшения H_0** .

Следует подчеркнуть и то обстоятельство, что все приведенные выше высказывания характеризуют соотношение случайных и детерминированных связей в сформировавшихся системах с заданной неизменной структурой. Мы же пытаемся проследить эволюционную динамику структуры систем, выражающуюся в изменении соотношения случайных и детерминированных связей, т. е. в изменении введенного А.Е. Седовым параметра $G = H_0/H_n$. **Простая связь параметра G с используемой теорией информации коэффициентом избыточности R позволяет применить накопленный опыт определения избыточности различных систем с целью оценки их эволюционных (созидательных, эмергентных) свойств.**

Попытку анализа процессов биологической эволюции с

кибернетических позиций предпринял в своей научно-публицистической монографии «Сумма технологии» Станислав Лем. В частности, он писал: «У растения, бактерии или насекомого, как «гомеостатов первой степени», реакции на изменения среды заложены с момента рождения. Применяя язык кибернетики, можно сказать, что эти системы (особи) заранее «запрограммированы» по всем тем возможным изменениям среды, к которым они должны приспособляться для сохранения своей жизни и для поддержания существования вида...

Когда же происходят изменения, выбивающие организм из равновесия, которые не были предусмотрены «программой» инстинктов, реакции «регулятора первой ступени» оказываются недейственными, и начинается кризис. С одной стороны, резко повышается смертность неприспособленных организмов, и одновременно усиливается отбор, что дает преимущество определенным новым формам (мутантам)... С другой стороны, возникают исключительно благоприятные возможности для организмов, наделенных «регулятором второго типа», т. е. мозгом, который в зависимости от требований среды может изменять «программу действий» («самопрограммирование за счет обучения»).... Организм уже «на собственный страх и риск», не опираясь на готовую программу действия, либо приспособливает себя к изменившейся среде (мышь учится находить выход из лабиринта), либо среду приспособливает к себе (человек создает цивилизацию). Существует, разумеется, и третья возможность — «проигрыш»: создав ошибочную модель ситуации, организм не достигает нужного результата и гибнет.

Сопоставив эти высказывания С. Лема с анализом, проведенным нами в данном разделе, нетрудно заметить, что С. Лем описывает по существу тот механизм природы, который приводит к установлению оптимального соотношения случайных и детерминированных связей, выражаемого введенным параметром G_{opt} . Подчеркивая различия между детерминированными и стохастическими реакциями организмов, Лем говорит: «Организмы первого типа «все знают заранее». Организмы второго типа должны еще обучаться правильному поведению. Преимущества, которые дает первый тип «конструкции» организмов, оплачиваются их узкой специализацией, цена преимуществ организмов второго типа — риск».

Научный творческий поиск также всегда сопряжен с риском и неудачами (ошибочными пробами), которые не только в чисто финансовом, но и в более широком смысле оплачиваются весьма дорого (потеря времени, авторитета, веры в собственные силы и т. п.).

В процессе биологической эволюции все особи, отнесенные к категории «неудачных» проб, обречены на смерть. А поскольку, согласно терминологии Д. Т. Кэмпбелла, поиск методом проб и ошибок

осуществляется путем «слепых вариаций», очевидно, что в общем количестве проб удачные составляют лишь ничтожно малую часть. Существующие в природе гармония и совершенство достигаются неумолимо суровым отбором и оплачиваются ценой массы смертей. Добываясь в процессе эволюции оптимального соотношения случайных и детерминированных связей $G_{\text{орт}}$, природа сохраняет для организмов в форме мутаций ту долю риска, которая необходима для приспособления к изменчивым условиям внешней среды. Планируя технический прогресс и научный поиск, люди также стремятся найти $G_{\text{орт}}$, обеспечивающий поступательное движение науки и техники при необходимом минимуме рискованных проб.

Рассмотренный выше метод анализа соотношения случайных и детерминированных связей с помощью функции $\sum_i p_i \log p_i$ носит

дедуктивный характер: вскрываются закономерности перехода от случайных связей к детерминации, общие для всех накапливающих информацию систем. Уяснив эти закономерности, мы проверяли их на частных примерах: на развитии инстинктов, письменной речи, общественных структур и т. п. **К тем же выводам в принципе можно прийти и с помощью индуктивного метода:** исследовать соотношения случайных и детерминированных связей в конкретных системах, а затем попытаться путем сопоставления выявить общие закономерности, не зависящие от конкретной природы систем. Проводимый системный анализ самых разнообразных объектов дает для таких обобщений обширный материал.

Например, в результате анализа ритмов поэтических произведений Ю. М. Лотман приходит к заключению, что ритмы стихотворных произведений представляют собой «игру упорядоченностей и их нарушений». «Поэтическая структура — прекрасная школа диалектики», — замечает далее автор. Таким образом, на основании исследований конкретных поэтических текстов Ю. М. Лотман делает тот же вывод, который был нами получен дедуктивным путем на основании описываемых функций

$$\sum_i p_i \log p_i,$$

общих свойств эволюционирующих систем.

К этому следует лишь добавить, что отмеченная Ю. М. Лотманом «игра» безусловно осуществляется в пределах дозволенных правил, не допускающих разрушения гармонической структуры стиха. Эти пределы допустимой «игры упорядоченности и их нарушений» могут быть также выражены с помощью оптимального значения коэффициента

стохастичности $G_{\text{opt}} = H_o/H_n$. При этом оптимальная величина H_o обеспечивает необходимые интонации и выразительность стихотворного текста, а оптимальная величина H_n сохраняет музыкальную целостность стиха. Попытка количественных оценок соотношения стохастичности и упорядоченности музыкальных произведений была предпринята В. Детловсом. Установив фактические значения вероятностей чередований семи музыкальных аккордов, В. Детловс определил с помощью функции

$$\sum_i p_i \log p_i$$

значение величин, обозначенных нами как H_{max} и H_o . Вычисленный нами по данным В. Детловса коэффициент стохастичности чередований парных аккордов составляет $G=2,4$. Полученная величина близка к коэффициенту стохастичности чередований парных букв английского текста, вычисленному по данным К. Шеннона и составляющему $G=2,3$. Следующий пример, подтверждающий реальность существования оптимального коэффициента стохастичности G_{opt} , может показаться несколько неожиданным; тем не менее он имеет самое непосредственное отношение к процессам взаимодействия случайных и детерминированных связей. Речь идет о проведенных американскими социологами исследованиях процессов становления моды. После статистической обработки результатов опроса большого количества женщин было установлено, что $3/4$ опрошенных стремятся не отставать от моды с целью не отличаться от окружающих, а $1/4$ расценивают моду как средство, помогающее им выделиться из среды. Вполне очевидно, что именно эта $1/4$ часть выполняет творческую функцию «законодателей моды» и является в этой области источником непредсказуемой информации, оцениваемой введенным нами параметром H_o . Интересно отметить, что соответствующий этому процессу коэффициент стохастичности $G = 1/3$ весьма близок к выявленному нами оптимальному коэффициенту стохастичности языка. Совпадение свойств языка и моды не следует считать только забавным курьезом. С точки зрения системного подхода становление моды — это один из типичных эволюционных процессов, обладающий настолько быстрыми темпами, что в отличие от процессов биологической эволюции его результаты могут проявляться наглядно от сезона к сезону из года в год. Сделанный нами вывод о роли «мутаций» в процессе развития языка полностью совпадает с воззрениями пражской структурно-лингвистической школы, согласно которым структура языка как системы делится на основные участки («центры»), отличающиеся высокой степенью регулярности и упорядоченности, и «периферийные» зоны, в которых наблюдаются нарушения системности и проявляется

динамика языка. Идея связи эволюции языка с нерегулярностями в его структуре (т. е. со стохастическими мутациями) получила развитие в работах представителя упомянутой школы — Р. Якобсона. Последний утверждает, что нерегулярности служат источником движения языка, в процессе которого «язык стремится ликвидировать состояние лабильности и перейти к новому гомеостатическому состоянию». В соответствии с рассмотренными нами общими соотношениями состоянию гомеостазиса языка опять-таки соответствует оптимальный коэффициент стохастичности $G_{opt} = H_o/H_n$.

Следующим примером, иллюстрирующим стремление эволюционирующих систем к полной детерминации, может служить подробно рассмотренный М. Ичасом генетический код. Исследования свойств наследственного кода показали, что сложившийся в результате эволюции «генетический словарь» обладает весьма ограниченными возможностями изменений. Ограничения эти обусловлены жесткой детерминированной связью между каждым из двадцати составленных из элементов генетического кода «слов» («кодонами») и включением в процесс синтеза белка одной из 20 аминокислот. Изменение любой из этих 20 связей порождает несовместимость комбинаций аминокислот в синтезируемом белке, что приводит к летальному исходу. В результате подобный мутант исключается из процесса дальнейшей эволюции, и полученное таким образом новое «слово» не может быть наследственно закреплено. Исходя из этого, М. Ичас приходит к выводу, что **сам «генетический словарь» в настоящее время полностью детерминирован и неизменен, а мутации генов осуществляются теперь только путем изменения последовательности «слов».** По его мнению, эволюция генетических кодов была возможна лишь на начальных этапах развития жизни, когда «вся биохимическая структура организмов была значительно менее специфичной» (в частности функционирование генома могло осуществляться без участия ряда ферментов), и соотношения между аминокислотами и кодонами были менее детерминированы («более лабильны»). В принятых нами обозначениях указанным условиям соответствует большое значение G за счет большого H_o и малого H_n . В ходе последующей эволюции «язык наследственности» достиг полной детерминированности на **уровне «букв» (т. е. четырех нуклеотидов) и на уровне «слов» (т. е. выраженных генетическим кодом «наименований» 20 аминокислот).** В результате на данном этапе развития земной биосферы эволюция осуществляется начиная с уровня **«фраз» (путем изменения последовательности аминокислот).** Вывод, сделанный М. Ичасом в результате анализа конкретных свойств генетического кода, полностью подтверждает справедливость общих соотношений, полученных нами на

основе исследований «динамических» свойств функции

$$\sum_i p_i \log p_i,$$

проведенных в настоящем разделе. В самом деле, по мере увеличения количества «правил» возрастает детерминированность связей (в данном случае — детерминированность связей между кодонами и компонентами синтезируемых белков). К совершенно аналогичному выводу приходит В. В. Иванов, анализируя устную речь. **На нижнем структурном уровне устная речь детерминирована определенным строением речевых органов, приспособленных для произнесения ограниченного числа фонем. Сравнительный анализ языков показывает, что для описания всех фонем, употребляемых во всех языках мира, потребуется набор признаков числом не более 20. Интересно отметить, что число фонем в человеческой речи (от 10 до 80 в зависимости от языка) имеет тот же порядок, что и число смысловых сигналов приматов (около 40).** На основании этих данных В. В. Иванов делает естественный вывод о том, что «для развития человеческого языка... существенным было не увеличение числа самих первичных сигналов, а введение в систему иерархии разных уровней (фонем, морфем, слов, предложений), т. е. **комбинаций первоначальных сигналов в последовательности и способ классификации по признакам...**». Другими словами, анализ конкретных свойств разговорного языка приводит В. В. Иванова к выводу о том, что, достигнув определенной степени детерминации на уровне фонем, данная система начинает эволюционировать уже на более высоких структурных уровнях, т. е. ведет себя в полном соответствии с общими закономерностями эволюционных процессов, выявленными нами с помощью параметра G и изображенными наглядно на рис. 3.

Уменьшение потенциальных возможностей формообразований (изменений структуры) по мере роста H_n и соответствующего уменьшения $H_o = H_{\max} - H_n$ (т. е. при малых значениях G) является общей закономерностью всех процессов самоорганизации, поэтому данную закономерность можно проиллюстрировать не только рассмотренными в предыдущем пункте языковыми примерами, но и сопоставлениями свойств конкретных биологических объектов. Так, например, рядом авторов отмечалась значительная изменчивость структуры микроорганизмов. «Даже незначительное изменение температуры среды или среды питания,— отмечает М. И. Сетров,— ведет к резким преобразованиям структуры, проявляющимся в изменении внешней формы клетки, ее размера, изменении ферментативных систем, самого принципа питания и дыхания. Вместе с тем оказывается, что для

столь изменчивых в структурном отношении существ характерна высокая устойчивость физиологических функций. Противоположная картина наблюдается у организмов, стоящих на более высоких ступенях развития: **здесь приспособление осуществляется путем изменения функции при сохранении той же структуры.** Так, **наиболее устойчивыми структурами высших организмов являются мышечная и нервная ткани.** Но именно эти структуры и обладают, как писал Л. А. Орбели, «беспредельной потенцией к смене функций и их совершенствованию. Рост лабильности функций при сохранении прежней структуры можно проследить на примере роста в филогенезе мультифункциональности (по А. Н. Северцову) конечностей животных).

Интересно сопоставить свойства простых и сложных живых организмов со свойствами примитивных и совершенных языков. Примитивный язык — это язык, который еще не исчерпал «резервов мутаций», не накопил достаточного количества ограничивающих правил, что характеризуется малым H_n , большим $H_o = H_{\max} - H_n$ и большим $G = H_o/H_n$. Вполне очевидно, что подобный язык приспособлен для выражения только самых простейших понятий, а усложнение понятий неизбежно сопровождается изменениями структуры языка (введением новых словообразований и грамматических структур). Этот процесс аналогичен отмеченному изменению структуры микроорганизмов, происходящих под действием окружающей среды.

Сложные организмы можно сравнить с высокоразвитыми языками, которым для выражения даже самых сложных понятий нет необходимости перестраивать свою структуру, так как они и при стабильной структуре обладают достаточным арсеналом выразительных средств. Это и есть не что иное, как «лабильность функций» совершенного языка и его «мультифункциональность», аналогичные тем же качествам, отмеченным А. Н. Северцовым и Л. А. Орбели для наиболее сложных и совершенных биологических структур.

Таким образом, рассмотренные результаты анализа конкретных систем в совокупности с приведенными ранее примерами (эволюционное образование детерминированных планетных систем, детерминированная структура клеток с переходом развития на уровень межклеточных связей, узкая специализация внутренних органов сложных организмов и др.) можно расценивать как эмпирическое подтверждение общих закономерностей эволюционных процессов, выявленных нами путем анализа динамических свойств функции

$$\sum_i p_i \log p_i$$

и оцениваемых с помощью коэффициента G .

6.4. Эволюция идей

6.4.1. Две точки зрения на связь информации и энтропии

Вопрос о том, каким образом накопленная человечеством научная информация влияет на заложенные в фундамент науки идеи, не является прерогативой одного лишь данного раздела. В предыдущих разделах мы уже говорили о том, как рожденные в Древней Греции представления о роли случайностей впоследствии трансформировались в вероятностные трактовки взаимосвязи явлений. Мы проследили за тем, как наивная теория Эмпедокла, согласно которой случайные комбинации членов и органов подвергаются сортировке противоборствующими силами Любви и Вражды, со временем превратилась в апробированную практическим опытом теорию эволюции, в которой роль Любви и Вражды выполняют статистические взаимодействия организмов, популяций и видов с окружающей средой и их естественный отбор.

Мы убедились в том, что по мере развития науки накапливалось все большее количество фактов, подтверждающих, что **понятия «случайность» и «вероятность» включают в себя не только субъективные факторы, связанные с неполнотой представлений о тех или иных явлениях, но и объективную стохастичность явлений.** Мы отметили также, что вслед за *понятием «вероятности»* ***рожденная вероятностная мера информации проделала аналогичный путь, превратившись из субъективной меры неведения в объективную меру упорядоченности движения элементов самых разнообразных систем.***

Все это демонстрирует проявление одной общей тенденции — **тенденции к непрекращающейся эволюции идей, обусловленной накоплением научной информации.** В том же аспекте, прослеживая, с одной стороны, преемственность научных идей, а с другой — диалектическую противоречивость концепций, возникающих в ходе развития новых теорий, мы коснемся теперь **вопроса об эволюции взглядов на природу и связь информации и энтропии.**

Как отмечалось выше, первым качественным скачком в процессе становления понятия энтропии был переход от абстрактной «функции состояния» Клаузиуса к статистической интерпретации, которую дал этому понятию Больцман. Использование формулы Больцмана для оценки количества информации тех или иных сообщений сразу выдвинуло перед наукой новый вопрос: является ли такое использование функции

$\sum_i p_i \log p_i$ чисто формальным математическим приемом или между количеством информации и физической энтропией существует некая глубокая связь? Точки зрения разделились. Многие ученые с полной определенностью высказались за то, что между физической и информационной энтропией следует признать лишь формальную связь. Противоположный взгляд, обоснованный Л. Бриллюэном, получил дальнейшее развитие в целом ряде трудов. Впоследствии Н. И. Жуков определил данную точку зрения как «расширительное толкование» понятия информации. Исходя из этого определения, утверждение о существовании только формальной связи между понятиями энтропии в физике и в теории информации правомерно назвать «ограничительным толкованием» информации. Согласно этой концепции, информация — это особое свойство живой материи и искусственно созданных человеком технических средств.

Начало «ограничительного толкования» положено не кем иным, как К. Шенноном, который в своих работах неоднократно подчеркивал, что теория информации преследует цели технической реализации оптимальных каналов передачи информации и вовсе не претендует на глобальный или тем более космогонический смысл. Стремление расширить полномочия теории информации, не ограничивая их рамками чисто технических приложений, К. Шеннон оценивал так: «Теория информации, как модный опьяняющий напиток, кружит голову всем вокруг... За последние несколько лет теория информации превратилась в своего рода бандвагон от науки...».

Однако вопреки воле и желанию главного создателя теории информации предложенная им мера количества информации помимо теории связи стала находить применение в биологии, физике, психологии, лингвистике и в ряде других областей. **«Как это часто бывает в развитии науки,— замечает по этому поводу Ю. В. Сачков,— решение, казалось бы, частной задачи приводит к разработке таких новых понятий и представлений, которые выходят далеко за рамки интересов исходной задачи и зачастую приобретают общетеоретическое значение. Так случилось и с понятием информации».**

В результате развития теории информации и ее приложений основоположник этой теории Клод Шеннон оказался в роли персонажа известной сказки Шехерезады, который откупорил найденную им бутылку, не подозревая, какой огромный в ней скрывается Джинн.

Однако, как и в сказке, «Джинн информации» столь же могуч, сколь и миролюбив, а потому ждать от него следует только добра. И все-таки Клод Шеннон советует не слишком уж уповать на всемогущество

Джинна, ибо «здание нашего несколько искусственно созданного благополучия слишком легко может рухнуть, как только в один прекрасный день окажется, что при помощи нескольких магических слов, таких, как «информация», «энтропия», «избыточность», нельзя решить всех нерешенных проблем...».

По поводу «всех нерешенных проблем» спорить, конечно, бессмысленно: было бы странно и удивительно, если бы все проблемы вдруг разрешились с помощью трех «магических» слов. **Но среди «наболевших» проблем науки есть немало таких, к которым теория информации открывает новый подход. И дело тут не в «магической силе» слов «информация», «энтропия», «избыточность», а в глубине и емкости тех понятий, которые выражают эти слова.** Рассмотренный нами выше процесс развития мира, трактуемый как процесс накопления информации, сопровождающийся диалектическим переходом случайных связей в детерминированные — разве это не пример нового подхода к решению немаловажной проблемы?

Трудно предвидеть, какие вопросы удастся решить с помощью идеи информации в будущем, но уже сегодня становится очевидным, что **информационная оценка явлений — это новый обобщающий взгляд на окружающий мир.** Могучий Джинн выпущен из бутылки, и никакими заклинаниями спрятать его обратно уже нельзя.

В свете сказанного очень важным становится **разрешение противоречий во взглядах на сущность понятия «информация» и на природу информационных процессов.** Как справедливо отмечает Н. И. Жуков, **«неоднозначность понимания этой важнейшей категории кибернетики наносит известный ущерб науке и практике», а «уяснению содержания и определение понятия — цель любого научного исследования».**

Можно провести прямую аналогию между современным этапом развития науки и техники и этапом, пережитым наукой и техникой около 200 лет назад. Если **первая техническая революция, связанная с изобретением паровой машины, побудила науку установить единую сущность различных видов энергии, то вторая техническая революция, связанная с созданием электронно-вычислительных машин, поставила на повестку дня вопрос об углублении представлений о сущности, единстве и противоположности понятий информации и энтропии.**

Вполне очевидно, что решение вопроса о справедливости одной из двух рассматриваемых нами концепций (т. е. «расширительного» или «ограничительного» толкования понятий «информации» и «энтропии») в значительной мере предопределяет путь дальнейшего развития исследований энтропийно-информационных соотношений различных процессов

и методологию применения аппарата теории информации и статистической физики в исследованиях различных материальных систем.

Попытаемся проанализировать шаг за шагом основные логические звенья «ограничительной» концепции информации на примере книги Н. И. Жукова, в которой делается попытка последовательно и полно обосновать указанную концепцию.

Исходным моментом проводимого Н. И. Жуковым анализа является утверждение о том, что информация не существует вне и помимо сложных саморегулирующихся систем. Автор книги предлагает **определение информации** как «**«сведений» об окружающем мире, используемых организмом (или машиной) в своей деятельности»**. Развивая данную точку зрения, Н. И. Жуков приходит к выводу, что «информационные процессы возникли вместе с жизнью на Земле. ...Появление первого живого организма означало возникновение первой самоуправляющейся системы на Земле и используемой ею для управления информацией». Для полной определенности остается лишь указать, в какой именно день творения был создан этот самый «первый» живой организм.

Противоположная точка зрения заключается в том, что между «живым» и «неживым», между «первым» и тем, который существовал до «первого», развивались какие-то переходные формы, подобные исследуемым современной наукой вирусам, способным в одних условиях проявлять все признаки жизни, а в других — вести себя как обычный кристалл. А поскольку существовали и существуют переходные формы от «неживого» к «живому», значит, должны существовать и переходные формы информации между информацией, участвующей, скажем, в процессах кристаллизации, и той информацией, которую использует в своей деятельности живой организм. При этом естественно считать, что, несмотря на многообразие переходных форм, информация сохраняет свою единую сущность. **Передача информации** — это передача рассмотренных нами «моделей движения» (моделей колебаний атомов кристаллической решетки, передаваемых в процессе кристаллизации от кристалла к кристаллу, моделей развития организма, закодированных в цепочках ДНК, и т. п.). **Увеличение количества информации** в той или иной системе соответствует увеличению упорядоченности (детерминированности) статистического движения ее элементов.

По нашему мнению, только такое толкование понятия информации — справедливое как для «живых», так и для «неживых» материальных объектов (хотя оно и отвергается Н. И. Жуковым и его сторонниками как «расширительное») — позволяет проследить связанный с накоплением

информации процесс эволюционного усложнения материальных систем. Этот процесс начался на Земле задолго до возникновения первых живых организмов. Он проявлялся в форме передачи информации от молекулы к молекуле или от кристалла к кристаллу, приводя к накоплению информации упорядоченного движения атомов и молекул, образующих усложняющиеся в ходе развития неорганические, а затем органические вещества (кстати, заметим, что только благодаря способности к сохранению информации, присущей кристаллам, кристаллические вещества могут использоваться в качестве основных элементов электронных машин).

В соответствии с законами диалектики процесс количественного накопления информации сопровождался качественными скачками, а возникновение жизни как раз и явилось результатом одного из подобных скачков. При этом, конечно, возникли и качественно новые виды информации и новые способы ее передачи и накопления. Но сущность информации (негэнтропии) как меры упорядоченности, меры отклонения от состояния равновесного хаоса сохраняется неизменной и для «живых», и для «неживых» материальных систем.

Вопреки утверждениям сторонников «ограничительного толкования», усматривающих использующие информацию процессы авторегулирования только в деятельности живых организмов и созданных техникой автоматов, подобные процессы происходят и в целом ряде явлений неорганической природы (разумеется, в самой простейшей форме). В этих процессах можно обнаружить и информацию (негэнтропию), и прямую и обратную связь. В частности в процессе регулирования уровня воды в озере, который Н. И. Жуков упоминает как пример регулирования без участия обратной связи, в действительности функционирует обратная связь. Регулировка уровня данного озера — результат общего процесса авторегулирования, известного под названием круговорота воды в природе. Постоянство уровня в морях и озерах и непрерывность течения воды в реках обусловлены как пополнением водных бассейнов в виде осадков (связь прямая), так и испарением (обратная связь). Следуя дальше, можно найти и источник негэнтропии, определяющей упорядоченность (направленность) этого вида движения. Этим источником является нарушение термодинамического равновесия между Землей и Солнцем, обусловленное разностью температур. Кстати сказать, тому же источнику негэнтропии мы обязаны возникновением жизни, разума, электронных машин и других упорядоченных систем и процессов, образующих звенья единой цепи развития, происходящего на Земле.

Толкование энтропийно-информационных соотношений как

диалектического единства двух противоположных сторон движения (стремления к хаотичности и упорядоченности) помогает связать все этапы развития материального мира в единую цепь. Стронники «ограничительного толкования» информации по существу не выдвигают против такой точки зрения каких-либо аргументов.

Точка зрения, согласно которой **информация есть мера материальных систем,** отвергается, например, Н. И. Жуковым потому, что «подобное расширительное толкование в итоге может привести, например, к ошибочной трактовке кибернетики, как науки об отражении, и возведению информации в ранг философской категории». Эта аргументация не представляется, однако, убедительной.

Кибернетика, как известно, представляет направление научной и технической мысли, основывающееся на синтезе «старых» и «новых» математических дисциплин. Теория же отражения входит в философию диалектического материализма. Поэтому можно считать, что кибернетика соотносится с теорией отражения так же, как физика и математика соотносятся с философией. **Результаты кибернетики и теории информации служат развитию положений материалистической теории отражения.**

Исходя из общего понимания **информации как статистической меры упорядоченности (напрвленности) движения,** роль и место понятия информации в научном мировоззрении можно определить следующим образом. **«Ранг» информации совпадает с «рангом» понятия энергии, поскольку и энергия, и информация служат мерами, характеризующими различные формы движения с двух разных сторон.** Разумеется, ни энергия, ни информация не могут претендовать на «ранг» философских категорий, поскольку это естественнонаучные понятия, позволяющие исследовать различные формы движения, а из всех упомянутых выше понятий только последнее (движение) может быть отнесено к разряду философских категорий.

В стремлении ограничить «сферу влияния» информации Н. И. Жуков заходит так далеко, что вводит понятие «биологической энтропии», противопоставляя ее общепринятому понятию термодинамической энтропии. **Между тем, на наш взгляд, наиболее правильный подход к изучению объектов живой природы должен базироваться на признании того факта, что живой организм безусловно подчиняется всем физическим законам, включая и законы термодинамики.** Это, разумеется, ни в коей мере не означает, что на базе физических законов в живой природе не возникают и более сложные биологические законы (например, законы синтеза белков или обмена веществ, законы нейро-гуморального регулирования физиологических

процессов и т. п.). **Но речь сейчас идет не об этих специфических биологических законах, а о приложимости общих законов термодинамики к исследованию биологических объектов.**

При исследованиях биологических объектов речь может идти не о «биологической энтропии», а о *термодинамической энтропии биологических систем*. Для установления связи между процессом накопления информации живым организмом и его способностью противостоять общей тенденции к увеличению энтропии как раз и необходимо введение единых и одновременно противоположных статистических мер упорядоченности и хаотичности движения, каковыми являются меры количества информации и энтропии.

Анализ диалектического единства понятий информации и энтропии как одной из форм борьбы противоположностей в движении материального мира (т. е. **стремления к увеличению хаотичности и к упорядоченности движения**), так же как установление общности энтропийно-информационных соотношений в процессах развития любых материальных систем, является актуальной задачей естествознания. Данное утверждение, конечно, отнюдь не исключает отстаиваемую сторонниками «ограничительного толкования» необходимость **разграничения форм информации и разработки специальных методов для исследования этих форм. На необходимость классификации видов информации (информация «связанная» и «свободная», «живая» и «мертвая» и т. п.)** указал уже один из первых сторонников «расширительного толкования» информации — Л. Бриллюэн. Несостоятельна, на наш взгляд, и попытка опровержения негэнтропийного принципа информации, установленного Л. Бриллюэном, на том лишь основании, что Бриллюэн опирается на теорию Шеннона, которая при количественных оценках информации игнорирует ее ценность и смысл. «Некорректность выражения «негэнтропийный принцип информации», — пишет Н. И. Жуков, — очевидна, если учесть, что в технической кибернетике термин «энтропия» часто употребляется в смысле математической оценки информации (в выражении «энтропия информации» у Шеннона, например). Этот математический аппарат никак не учитывает значимости, ценности информации, что признает даже тот, кто вышеназванный принцип склонен считать главным в теории информации. «...Назвать информацию негэнтропийной — значит игнорировать тот факт, что формула количества информации, предложенная Шенноном: $I = - \sum_i p_i \log p_i$, принципиально не

подходит для определения семантической информации».

Согласно приведенным рассуждениям, негэнтропийный принцип информации не может быть признан справедливым по той причине, что

оценка количества информации производится независимо от ее смыслового значения. На самом деле все обстоит как раз наоборот. **Всякая семантическая оценка информации в том или ином аспекте в конечном счете субъективна.** **Главным достижением теории информации является именно то, что она сумела абстрагироваться от семантической стороны информации и благодаря этому нашла объективную количественную меру.** Без этой абстракции наука никогда не смогла бы перешагнуть за пределы традиционных рамок узкобытового понятия «информация», интерпретируемого как передача и получение смысловых новостей. Именно благодаря абстрагированию от конкретных свойств информации, ее ценности, смысла, науке удалось сделать первый и решающий шаг в исследовании **закономерностей энтропийно-информационных процессов**, подобно тому как абстрагирование от конкретных свойств механического движения (неизбежности трения) в свое время позволило Галилею сделать в изучении общих законов механики столь же решительный шаг.

Вопросы о смысле и ценности информации, о ее материальных носителях, о способах обработки и т. д. — все это хотя и очень важные, но все же частные вопросы, возникающие при анализе конкретных процессов. А **оценка количества информации и энтропии** — это **общий метод сравнительной оценки степени организованности, направленности, упорядоченности любых материальных систем.**

(Точно так же **закон сохранения энергии** — **общий закон**, а вопросы о формах энергии, ее передаче, преобразованиях и т. п. — частные вопросы исследования конкретных систем.)

Семантическая оценка информации — это один из видов селекции. Можно сортировать информацию по ее смыслу, ценности, содержанию. (Так, в частности, поступает руководитель любой организации, когда он по смысловому значению информации направляет полученные письма на исполнение Иванову или Петрову, а утратившие актуальность адресует в архив.) Но **сортировать информацию можно и по свойствам ее материальных носителей: запах, несущий собаке огромное количество информации, не воспримется человеком; приемник, настроенный на волну определенной станции, не воспримет информацию, передаваемую в другом диапазоне частот. Все это — примеры селекции.** И хотя смысловая селекция несравненно сложнее и важнее, чем другие формы селекции (ведь «фильтром» здесь служит сознание!), по отношению к общему процессу развития, отбора и накопления информации все формы селекции функционально стоят в одном и том же ряду. Это не значит, конечно, что их изучение должно непременно проводиться с помощью единого универсального

инструмента. **Напротив, к исследованиям различных форм селекции необходим разный подход. Так, например, частотная селекция информации, осуществляемая в многоканальных системах связи, основана на исследовании частотных и резонансных характеристик каналов. Для исследования упомянутой выше селекции информации с помощью органов обоняния необходимо прежде всего изучить физическую природу запахов и т. п.**

Вопросы селекции информации по ее смыслу и ценности относятся к числу наиболее сложных, поэтому вполне естественно, что в этой области пока сделаны лишь первые шаги. Предложены не вполне совершенные логические модели, позволяющие производить количественные оценки информации с учетом ее содержания («семантическая теория информации» или ценности («прагматическая теория информации»).

Предпринятые многими авторами попытки отрицания общенаучного «ранга» понятия «информации» основываются иногда и на том, что предложенный К. Шенноном для оценки количества информации аппарат недостаточно универсален. Если дело касается вопроса о конкретных исследованиях различных видов информации и различных форм информационных процессов, то тут, безусловно, приходится согласиться с утверждением об ограниченной применимости формулы

$$I = - \sum_i p_i \log p_i.$$

Так, например, в указанном виде в данной формуле учитываются вероятности появления разных сигналов в отвлечении от их взаимосвязи. Чтобы учесть корреляцию, выражение количества информации приходится несколько усложнить. Еще сложнее производить количественные оценки информации с учетом ценности и смысла. Например, А. Н. Колмогоров считает, что в этом случае величина I должна быть не скалярной, а векторной. Дальнейшее развитие кибернетики, теории информации, статистической физики, биологии, теории случайных процессов позволило найти новые методы исследований различных видов информационных процессов. Однако с точки зрения научного мировоззрения **главная заслуга теории информации заключается именно в том, что она позволила установить во всем многообразии видов и форм энтропийно-информационных процессов их единую сущность и взаимосвязь.**

Четкое обоснование общенаучного смысла понятия «информация» дает Ю. В. Сачков. Общетеоретическое значение этого понятия Ю. В. Сачков объясняет тем, что «оно служит для характеристики и исследования весьма широкого класса множеств безотносительно к их

конкретной природе, будь то множества сообщений или материальных объектов и сущностей. В основе развития теории информации лежит анализ множеств, имеющих вероятностную структуру, и она выступает прежде всего как своеобразное «исчисление» вероятностных структур... Соответственно этому **информация обобщенно определяется через представление о разнообразии и неоднородности в строении и движении материи**».

Попутно заметим, что упомянутая в данном высказывании Ю. В. Сачкова характеристика информации как меры неоднородности распределения энергии в пространстве и во времени полностью соответствует определению, данному Е.А.Седовым и подробно рассмотренному в данной работе. В самом деле, **характеризуемое количеством объективно сохраняемой информации упорядоченное (направленное) движение возникает именно благодаря неоднородности распределения энергии в пространстве и во времени, и в этом смысле определения «информации», предложенные Е.А.Седовым и В. М. Глушковым, равноценны**. Различие заключается лишь в том, что рассматриваемое Е.А.Седовым представление о количественной мере информации как мере упорядоченности (направленности) движения устанавливает непосредственную связь между информацией и материальным объектом, в то время как **В. М. Глушков определяет информацию через вторичную характеристику движения (через энергию)**. **Понимание информации как меры упорядоченности (направленности) движения представляется нам более точным, в частности, потому, что оно позволяет сравнить по степени общности понятия энергии (меры интенсивности движения) и информации (меры упорядоченности движения) и поставить их в один ряд.**

Отрадно отметить, что тенденция расширительного толкования понятия информации получает все более широкое признание в научной среде. По этому поводу В. М. Адров писал: «...Информацию мы будем понимать в несколько более широком смысле, нежели это делается в кибернетике. Предпосылки для этого, в частности, дает и сама теория информации, все основные построения которой создавались весьма независимо от идей кибернетики. И если основные результаты теории информации нашли самое широкое применение в кибернетике, то это означает лишь то, **что кибернетические системы (в том числе и живые существа) не могут существовать без информационных процессов, но не наоборот**. Глубокий философский смысл понятия информации, который признается всеми, как раз и связан с тем, что понятие информации можно расширить за пределы кибернетики и связать с философскими категориями». Ту же точку зрения отстаивает и развивает в своей книге А. Д. Урсул.

6.4.2. Диалектика случайных и детерминированных связей

Среди результатов и выводов, получаемых на основе кибернетических и информационных концепций, принципиальное значение имеет вывод о необходимости введения в программу моделирования процессов эвристического мышления с помощью электронно-вычислительных машин стохастического сигнала. Впрочем, идею о роли стохастических связей в процессе творческого мышления не следует относить к числу заслуг одной лишь кибернетики, поскольку эту мысль высказал еще в 1855 г. А. Бэн. Ему же, кстати, принадлежит и термин «метод проб и ошибок», получивший новое звучание и широкую популярность опять-таки благодаря использованию этого метода в программах электронных машин. Вслед за А. Бэном другие авторы также **рассматривали творческое мышление как стохастичный процесс.**

Таким образом, роль кибернетики в данном случае сводится к развитию ранее высказанных идей. Однако в общем аспекте гносеологии кибернетический подход весьма принципиален: то, что во времена А. Бэна и его ближайших последователей было всего лишь гипотезой, теперь превратилось в экспериментальный факт. **Доказано, что без введения в программу ЭВМ стохастического сигнала нельзя осуществить эвристического, «творческого» решения задач.** Естественно возникает желание использовать опыт моделирования на электронных машинах с целью уточнения представлений о реальных процессах мышления. Именно этим обстоятельством обусловлено опубликование многочисленных работ, посвященных рассмотрению процессов мышления в кибернетическом аспекте. В этих работах высказано немало интересных и заслуживающих внимания гипотез о природе мышления. Но вместе с тем в ряде случаев имеет место тенденция к упрощенным трактовкам такого сложного явления, как человеческая мысль. Именно с таких позиций пытается анализировать процесс эвристического мышления Д. Кэмпбелл.

Лейтмотивом работы Кэмпбелла является утверждение, что в основе творческого поиска лежат *слепые вариации*, не зависящие ни от прошлого опыта, ни от цели поиска и поставленных творческих задач. По мнению Кэмпбелла, ни удачно найденное решение проблемы, ни открытие, ни изобретение—«ничего не говорит нам о превосходстве гения одного человека — просто так случилось, что он стоял на том месте, которое внезапно озарила молния». «Мы испытываем соблазн,— рассуждает Кэмпбелл, искать у этого человека наличие особого неуловимог таланта...

В случае подлинно не поддающегося предвидению творческого акта наше «благоговение» и «удивление должно быть направлено вовне, к внешнему миру, который так себя обнаруживает, а не к тому, что предшествовало этому открытию. Точно так же, как мы не приписываем особого «предвидения» удачному мутанту по сравнению с неудачным, мы во многих открытиях не должны предполагать, что изумительные заключения имели столь же изумительное прошлое».

Надо признать, что сравнение с удачным мутантом выбрано неудачно. «Удачный мутант» — это тоже результат всей предшествующей эволюции, которая как раз и является «изумительным прошлым» биосферы Земли. **Учет этого «изумительного прошлого» — необходимое условие анализа объективных свойств процесса эволюции биологических видов.**

Простой расчет, проведенный М. Иденом, показывает, что **путем «чисто случайного» перебора комбинаций невозможно создать не только сложный организм, но даже молекулу белка.** Если принять, что среднее число единиц в полипептидной цепи равно 250, то число комбинаций равно числу «слов», написанных с помощью алфавита из 20 букв (т. е. 20 различных аминокислот), при условии, что каждое «слово» состоит из 250 букв. Число таких «слов» составляет 20^{250} или 10^{325} . Общее число когда-либо существовавших белковых молекул по приблизительным подсчетам Идена составляет около 10^{52} . Вероятность того, что одно случайное «слово» из 10^{325} «слов» окажется белковой молекулой, составляет ничтожную величину: $10^{52}/10^{325}=10^{-273}$. Иден приходит к выводу, что реализация подобной случайности даже в течение миллионов столетий практически столь же невероятна, как невероятно, чтобы ребенок, случайно переставляющий буквы, вдруг набрал из «Энеиды» Вергилия хотя бы первые 20 строк.

Однако с точки зрения Кэмпбелла нечто подобное происходит в процессе творческого мышления: при решении той или иной научной проблемы шансы на успех у исследователя, наделенного эрудицией и опытом, ничуть не выше, чем у того, кто пытается ту же проблему решать «с кондачка». (Если продолжить аналогию с мутантами, это равносильно утверждению о том, что лебедь мог с равной вероятностью произойти и от археоптериксов и от плоских червей.) Кэмпбелл полагает, что благодаря слепым вариациям «многие важные вклады в науку будут сделаны сравнительно неталантливыми и малоусердными людьми». Иная позиция, по мнению Кэмпбелла, «приводит к «обожествлению» творческого гения, которому мы приписываем способность непосредственного ясновидения, вместо барахтанья мыслей и блуждания по тупикам, что является, как мы это осознаем, прообразом наших процессов мышления».

Впрочем, сам Д. Кэмпбелл чувствует шаткость своих заключений. Не случайно он вспоминает, что еще в 1726 году Свифт создал пародию на подобное толкование творческого процесса, описав в «Путешествиях Гулливера» лапуянскую академию, ученые которой пытаются открыть великие истины, нанизывая на стержни случайные последовательности букв. Упоминается и современная модификация этого «метода», которому группой авторов было присвоено шуточное название «алгоритма Британского музея». Суть его заключается в том, чтобы заставить обезьян стучать на пишущих машинках. Расчеты показывают, что путем случайного перебора букв в течение миллиона лет группа обезьян наряду со множеством бессмысленных вариаций создаст и осмысленные страницы всех книг, которые хранятся в библиотеке Британского музея.

Так в чем же все-таки состоит отличие талантливого ученого от обезьяны? Пытаясь ответить на этот вопрос, Кэмпбелл приходит к выводу, что разница эта проявляется не на этапе поиска, а лишь на этапе отбора «слепых вариаций». «Различие между успехом и неуспехом лежит в условиях выбора встретившихся заново комбинаций, а не в различиях талантов при создании проб»,— утверждает Кэмпбелл. Сокращение времени поиска по сравнению с «творчеством» по «алгоритму Британского музея», по мнению Кэмпбелла, достигается тем, что отбор неудачных проб производится последовательно, шаг за шагом, «с последующим испытанием только тех вариаций, которые прошли отбор на каждой предыдущей стадии». Для экономии времени «в процессе создания нашей «универсальной библиотеки» мы прекращаем работу на любом томе, как только становится ясным, что он представляет собой тарбарщину».

Итак, процесс творческого поиска Кэмпбелл подразделяет на две стадии, из которых первая *абсолютно случайна* (поиск), а вторая — *детерминирована* (отбор). Согласно трактовке Кэмпбелла, такие факторы, как способности, эрудиция, опыт, проявляются лишь на второй стадии, в то время как первая стадия совершенно от них не зависит.

«Каковы же признаки, по которым можно различать мыслителей друг от друга, исходя из концепции модели проб и ошибок? — спрашивает Кэмпбелл.— Прежде всего, они могут отличаться друг от друга точностью и подробностью своих представлений об окружающем мире, о манипуляциях с его элементами, а также представлений о критериях выбора... Творческий мыслитель большого масштаба может удерживать в уме большое количество таких критериев, и поэтому увеличивается вероятность его успеха в решении проблемы, сопряженной с первоначальным главным направлением его попыток. Последняя область индивидуальных различий в способностях связана с умением накапливать

и передавать встречающиеся решения».

Из своих рассуждений Кэмпбелл делает практический вывод: «Эти соображения наводят на мысль о целесообразности взаимно дополняющих друг друга комбинаций талантов в творческих объединениях, хотя, **как известно, несдержанный, обуреваемый идеями человек и человек методического склада, склонный редактировать и протоколировать, являются плохо совместимыми коллегами**».

Методологической основой взглядов Кэмпбелла служит постулат, утверждающий, что **стохастический поиск и детерминированная направленность несовместимы**. На деле эти оба процесса могут **диалектически совмещаться в одном мозге, в одно и то же время — реализовывать диалектически противоречивый, но в то же время единый процесс**.

Источником выводов, подобных заключениям Кэмпбелла, является не преодоленная полностью современной наукой метафизичность подхода, при котором «какая-нибудь вещь, какое-нибудь отношение, какой-нибудь процесс либо случайны, либо необходимы, но не могут быть и тем и другим». Между тем именно **совмещение случайных и детерминированных связей может быть залогом и необходимым условием всякого творческого успеха**. Тот факт, что такое совмещение в пределах единой системы в принципе возможно, подтверждает анализ статистических свойств языка, проделанный нами в настоящем разделе выше.

Отсутствием диалектичности в подходе к анализу процесса мышления грешит, к сожалению, не только Кэмпбелл. С тех же самых позиций анализирует процесс мышления У. Росс Эшби, утверждающий, что «в гении замечательно умение отсеивать возможности». Поэтому способность выбрать оптимальную возможность из N заданных Эшби считает чуть ли не абсолютным показателем развития ума. Так же как и Кэмпбелл, Эшби искусственно расчленяет процесс мышления на две части: «селективную» и «шумовую». На этой основе он высказывает гипотезу о принципиальной возможности создания «усилителя мыслительных способностей», который в представлении Эшби есть не что иное, как селектор генерируемых опять-таки в виде шума идей.

Существование подобных «неометафизических» концепций лишний раз подтверждает актуальность диалектического анализа взаимодействия случайных и детерминированных связей в процессах мышления, начиная с единичных творческих актов и кончая общим развитием естественнонаучной мысли. Такой анализ раскрывает, что, как и во всяком процессе диалектического развития, в процессе творческого мышления осуществляются переходы случайных связей в

детерминированные, рассмотренные нами на примере эволюции языка.

Поскольку **язык является средством выражения мыслей**, нетрудно себе представить, что подобное противоречивое единство случайных и детерминированных связей присуще как процессу мышления, так и тем информационным связям между клетками коры мозга, которые обеспечивают этот процесс. Напротив, бессистемное, нецеленаправленное «блуждание по тупикам» и «барахтанье мыслей», отстаиваемые Кэмпбеллом, разумеется, не могут принести ничего, кроме бесплодной растраты времени и творческих сил.

Проводя аналогию между эвристическим мышлением и биологической эволюцией, Кэмпбелл, казалось бы, уже готов признать диалектическое единство их случайных и детерминированных свойств: «При развитии органического мира процесс мутационного изменения и процесс сохранения приобретенных свойств посредством консервативной наследственности находятся в некотором противоречии друг с другом, причем увеличение любого из этих факторов происходит за счет другого, а некоторая степень компромисса между ними является оптимальной». Казалось бы, этот вывод должен привести Кэмпбелла к анализу взаимодействия случайных и детерминированных связей. Однако этот автор идет по другому пути: «Мы могли бы ожидать, что очень ярко выраженный диапазон новаторства в мышлении и очень ярко выраженная механическая память могли бы привести даже к отрицательной взаимной корреляции». И далее следует уже приведенное нами высказывание о том, что единственный выход из этого противоречия заключается в подборе «взаимно дополняющих друг друга комбинаций талантов».

Таким образом, Кэмпбелл проходит мимо диалектического единства противоположностей («некоторой степени компромисса»), которое приводит к оптимальному соотношению случайных и детерминированных связей, характеризуемому введенным параметром G_{opt} . Между тем, так же как и в любом процессе самоорганизации, такой компромисс (а точнее — оптимум) существует и в процессе эвристического поиска. Практически он проявляется, во-первых, в правильном выборе некоторого количества (но не бесконечно большого!) вероятных направлений успешного поиска, во-вторых, в правильном определении возможного диапазона поиска ассоциаций между явлениями, понятиями и т. д. Чрезмерное (т. е. далекое от оптимального) сужение диапазона и направлений случайного поиска закрывает путь к неожиданным ассоциациям, или, как выражаются современные физики, «сумасшедшим идеям». Но, с другой стороны, **успеха в творчестве достигает не тот, чья мысль «барахтается» и «блуждает» без всяких ограничений, а тот, кто сумел априорно определить правильные направления поиска и объективные критерии оценки того, что в**

каждом из выбранных направлений удается найти. Лишь после того, как четко сформулирована цель научного поиска и намечены возможные пути достижения поставленной цели, можно осуществлять в выбранных направлениях стохастичный поиск, не слишком сужая его границы.

В умении совместить оптимальным образом противоречивые условия стохастичности и априорной детерминации и заключается истинный творческий талант. Индивидуум, мыслительный процесс которого характеризуется соотношением $G \ll G_{opt}$, не способен в своем творчестве выйти за рамки общепринятых методов, представлений и взглядов. Индивидуум, у которого $G \gg G_{opt}$, обречен вечно терзаться обилием преимущественно бесплодных идей. Бесплодность его идей обусловлена тем, что в силу отсутствия необходимой степени детерминированности интеллекта (дисциплины мышления) он не способен отличить важные идеи от незначительных соображений и направить по нужному руслу свою «шарахающуюся» и «блуждающую» мысль. И лишь при условии $G \cong G_{opt}$ может плодотворно осуществляться продуктивный творческий процесс.

Согласно преданию, падение яблока «случайно» натолкнуло Ньютона на открытие закона всемирного тяготения. Существует версия, согласно которой периодическая система химических элементов Менделееву «случайно» приснилась во сне. Майкл Фарадей «случайно» обнаружил, что для получения тока индукции необходимо либо изменять магнитное поле, либо перемещать магнит относительно проводника. Клод Шеннон «случайно» решил применить статистическую формулу физической энтропии для оценки энтропии и информации передаваемых сообщений, а потом оказалось, что формула эта пригодна и для оценки количества информации, сохраняемой и в тканях живых организмов, и в структуре физических тел. Во всех приведенных примерах «случайным» открытиям предшествовала гигантская целенаправленная работа творческой мысли.

Можно привести много примеров того, как важные открытия и изобретения рождались путем неожиданных сопоставлений несходных явлений из далеких научных или технических областей. Этим процесс мышления отличается от процесса биологической эволюции, в котором многообразие видов и видовых признаков обусловлено не широким диапазоном мутаций, т. е. не большим значением дисперсии признаков у одного поколения, а последовательным накоплением небольших отклонений в течение многих сменяющихся поколений. Именно благодаря этому свойству возникает тенденция постепенного «целенаправленного» развития органов. Именно в этом

смысле следует понимать замечание К. Уоддингтона: «Мы, разумеется, не должны считать, что глаз позвоночного животного, нога лошади или шея жирафа представляют собой в сколько-нибудь серьезном смысле результат случайного поиска».

Мысль не имеет подобных ограничений. Она может мгновенно «мутировать» ассоциации между любыми явлениями, и именно благодаря этому наше сознание способно за ограниченное время строить модель таких процессов, как эволюция биологических видов, реальная продолжительность которых составляет миллионы и миллиарды лет. Однако это вовсе не означает, что подобные ассоциации возникают «чисто случайно», что на них нечаянно «натывается» «слепая», «блуждающая» мысль. Напротив, они всегда являются **результатом целенаправленного поиска, сопоставления приобретенных предварительно глубоких знаний из нескольких не связанных между собой, но осознанных данным исследователем областей.**

Именно эту целенаправленную, детерминированную составляющую творческих поисков ученого А. А. Ухтомский называл «доминантой». **Под доминантой научного мышления он понимал длительную установку научного поиска, своего рода «сверхзадачу» ученого, или, как выражался сам Ухтомский, его «маховое колесо».** При этом А. А. Ухтомский подчеркивал, что чрезмерное преобладание доминанты приводит к консерватизму научных взглядов, к неумению уяснить для себя доминанты своих коллег: **«Человек является настоящей жертвою своих доминант везде, где отдается предубеждению, предвзятости; и еще хуже, когда он сам этого не замечает. Чтобы не быть жертвою доминанты, надо быть ее командиром. По возможности полная подотчетность своих доминант и стратегическое умение управлять ими — вот практически что нужно».**

Отмеченному А. А. Ухтомским «стратегическому умению» управления доминантой соответствует определенное соотношение случайных и детерминированных связей мышления и соответствующий ему оптимальный коэффициент стохастичности G_{opt} . Только благодаря наличию соответствующих G_{opt} вероятностных связей, выражающихся количественно величиной H_n , индивидум сохраняет способность воспринимать неожиданную информацию даже в том случае, если она противоречит его доминанте, и пересматривать собственные сложившиеся представления с учетом чужих концепций, взглядов, идей.

Другим примером сочетания случайных и детерминированных связей в процессах эвристического мышления является интуитивный творческий поиск. Общеизвестно, что в успехе решения любой новой научной

проблемы интуиции исследователя отводится далеко не последняя роль. А что представляет собой интуиция, как не совмещение случайных и детерминированных процессов, когда накопленный опыт подсказывает примерное направление поиска, а недостаток исходных данных восполняется удачными решениями, принимаемыми «наугад»?! В этой связи следует упомянуть предложенную некоторыми авторами одностороннюю трактовку понятия «интуиции» как случайного выбора решений, которая сводит это ценнейшее качество творческой личности к «автоматической интуиции», имитируемой генератором случайных сигналов, вводимых в эвристическую программу электронных машин.

Если бы каждый научный поиск был полностью стохастичным, это означало бы равенство вероятностей всех направлений поиска. Такой ситуации соответствует полное отсутствие предварительной информации, т. е. максимально энтропийный поисковый процесс. Так может «творить» обезьяна, для которой не существует смысла возникающих слов. Ребенок, овладевающий навыком чтения, творит и ищет уже направленно: на основе усвоенной разговорной речи он стремится составить из букв произносимые слоги и осмысленные слова. **Предварительный опыт ученого позволяет ему осуществлять частично направленный, а частично случайный (по методу проб и ошибок) поиск новых связей между явлениями, понятиями и т. д.** Даже в таких упрощенных моделях эвристического процесса, каковыми являются на сегодняшний день самообучающиеся программы для ЭВМ, успех обучения может быть достигнут только в том случае, если машина умеет «детерминировать» поиск, запоминая как удачные, так и неудачные пробы, а затем сортируя их в соответствии с определенными критериями таким образом, чтобы неудачные пробы в дальнейшем не повторять.

При отсутствии определенной детерминации творческого процесса «поиск» состоял бы в выборе первого попавшегося пути. К счастью, **в отличие от длящейся тысячелетиями «слепой» биологической эволюции, творец — художник, ученый и т. п. — всегда ставит определенную цель.** Это дает возможность использовать **как индуктивный, так и дедуктивный подход, т. е. идти как от частного к общему, так и от общего к частному.** сформулировать в общих чертах ту мысль, которой он посвятит следующую строку поэмы, а уж затем решать более частные вопросы относительно необходимых для выразительности и одновременно удовлетворяющих требованиям стихотворных размеров и рифмы отдельных слов.

Как было показано выше, наиболее ярким художественным образам («страна березового ситца» и т. п.) соответствует оптимальный коэффициент стохастичности $G_{\text{опт}}$. При оценке степени направленности (детерминированности) творческого поиска следует учитывать еще и то

обстоятельство, что различные его направления всегда в той или иной степени взаимозависимы, ибо неудача в одном из направлений помогает найти правильный путь в другом. Это является дополнительным фактором, уменьшающим исходную неопределенность поиска, так как в соответствии с исследованными теорией информации свойствами функции $\sum_i p_i \log p_i$ неопределенность H уменьшается в случае

зависимых значений p_i (в этом случае символы p_i следует понимать как *условную вероятность*). Априорное определение оптимальных соотношений случайных и детерминированных связей в процессе творческого поиска становится актуальной практической задачей в связи с назревшей необходимостью планирования научно-технического развития.

Ввиду отсутствия методов априорного определения оптимального соотношения случайных и детерминированных связей правильность выбора этого соотношения может быть проверена только путем практической реализации и координации научно-исследовательских работ. Поиск разрешения противоречия между стохастичностью и детерминированностью осуществляется и при решении технико-экономической проблемы: определения оптимальной степени унификации и стандартизации технических средств. Очевидно, что **унификация приносит экономический выигрыш, однако одновременно она же тормозит внедрение новых решений и средств.** **Определение разумных пределов стандартизации и унификации — это еще один пример поисков оптимального значения коэффициента стохастичности $G_{\text{опт}}$.**

Анализируя роль случайного поиска в процессе биологической эволюции, Уоддингтон повторяет ошибку Кэмпбелла, стремясь во что бы то ни стало расчленив на «**чисто случайную**» и «**жестко детерминированную**» **части диалектически единый процесс.** По его мнению, случайный поиск может осуществляться только на самом первичном уровне организации «генетического материала» и выражается в добавлении, исключении или изменении последовательности нуклеотидов в ДНК. «Следует ли из этого, что изменения, на которые действует естественный отбор, также случайны?» — спрашивает Уоддингтон. А в качестве ответа приводит следующий пример: «Форма гравия на дне реки определяется случайными процессами, т. е. возникает в результате случайного поиска. Однако из этого не следует, что случайный поиск играет сколько-нибудь существенную роль в строительстве моста из бетона, для приготовления которого был использован этот гравий. Факторы, учитываемые при сооружении моста, относятся, так сказать, к иному порядку сложности, чем те, которые

определяют образование компонентов бетона. Надо спросить, не обусловлена ли приписываемая эволюции зависимость от случайного поиска сходным смещением различных порядков сложности?».

В процессе биологической эволюции «гравием» является упомянутый выше «генетический материал», для которого Уоддингтон признает право на случайные мутации отдельных генов. Однако «у высших организмов... изменения, оказавшиеся выгодными в эволюционном плане, зависят вообще не от случайных мутаций единичных генов. Преобладающее большинство случайных генных мутаций, имеющих достаточно выраженный эффект, чтобы их можно было заметить по отдельности, оказываются вредными и элиминируются естественным отбором,... Включение мутантной формы какого-либо из главных генов в эволюционную последовательность влечет за собой одновременный отбор большой связанной с ним группы «генов-модификаторов». Однако в общем эволюция высших организмов зависит от отбора признаков, на которые более или менее одинаково интенсивно влияет большое число генов. Такие признаки можно сравнить скорее с бетонными блоками, а не с отдельными камешками гравия в бетоне».

Эти слова не вызывали бы никаких возражений, если бы Уоддингтон признал право случайного поиска и для строителей указанного «моста». Но «мост Уоддингтона» почему-то должен быть непременно построен по стандартному *детерминированному* проекту, из которого случайный эвристический поиск должен быть полностью *исключен*. «Возвращаясь к аналогии с бетонным блоком, можно сказать, что роль случайных процессов заключается в том, чтобы «создать» гравий; затем мы можем из этого гравия приготовить бетон, а этому бетону придать форму какого-либо объекта, приспособленного к окружающей среде. Эта форма не будет воспроизводить объект во всех деталях, если гравий был слишком крупный; если же гравий, напротив, был слишком мелкий, то форма будет недостаточно прочной. Самое главное — это чтобы смесь имела оптимальный состав. В образовании гравия участвуют лишь случайные процессы, но от этого еще очень далеко до вывода, что формы, образующиеся в соответствии с тем или иным объектом, т. е. фенотипы, в разных условиях среды также возникают путем случайного поиска».

Мы видим здесь тот же подход, что и у Кэмпбелла: разрыв единого процесса, выделение из него «чисто случайной» и «жестко детерминированной» частей. Но выводы прямо противоположны: Кэмпбелл преувеличивает роль случайного поиска в процессах эвристического мышления, Уоддингтон у малывает роль случайных мутаций и переоценивает роль детерминированных связей в биологических эволюционных процессах.

Тенденция преувеличения роли одной из сторон явлений

(детерминированности или случайности) есть выражение метафизического способа мышления. В диалектическом эволюционном процессе «бетонный мост» Уоддингтона не может быть «жестко детерминированным» мостом. Как следует из рассмотренных нами закономерностей развития, речь может идти лишь о той или иной *степени детерминации*, о соотношении случайных и детерминированных связей, характеризуемых коэффициентом стохастичности G . Например, анализ статистических свойств языка показывает, что параметр G может характеризовать соотношение случайных и детерминированных связей не только между отдельными буквами, но и между словами и фразами, т. е. *на всех структурных уровнях языка*. Точно так же в биологических системах случайные связи существуют одновременно с детерминированными связями не только на низших структурных уровнях («гравий»), но и в тех соединениях, которые образуют следующие структурные уровни и создают нечто единое из «бетонных блоков моста».

Уоддингтон исходит из того, что случайные связи полностью исключают детерминированность. Только при этом условии правомерна упомянутая выше аналогия между случайной изменчивостью организмов и игрой ребенка, набравшего совершенно случайно двадцать строк поэмы Вергилия. Но в том-то и суть, что процесс эволюции вовсе не требует, чтобы случайно возникли сразу целых двадцать вергилиевских строк. Эти двадцать строк уже образованы в течение миллионов лет предшествующей эволюции, а роль мутаций заключается лишь в том, чтобы путем случайного перебора найти не двадцать строк, а всего одну букву, с которой может быть начата следующая строка. Именно такими ничтожно маленькими шагами протекал процесс поиска и закрепления рациональных признаков, причем по мере их накопления образовывалось все большее число детерминированных «правил», которым последующие случайно найденные признаки должны были удовлетворять.

Иной путь тут невозможен: вследствие отсутствия заранее намеченной цели и обобщающих представлений Природа не может использовать для руководства поиском заранее созданный эталон. Отсюда следует, что характерный для осознанного творчества путь от обобщенной цели к частным решениям (дедуктивный метод) для биологической эволюции полностью исключен. Природа не знает заранее, чего она хочет, она просто мутирует «наугад» «букву» за «буквой», а затем испытывает «на прочность» (в смысле приспособляемости и выживаемости) каждый полученный результат. В этом плане поиск в процессе биологической эволюции в большей степени приближается к «слепому», — однако даже и этот поиск нельзя считать «совершенно слепым». Дело в том, что, созидавая новый видовой признак, Природа неукоснительно сохраняет в

своей «генетической памяти» весь остальной комплекс признаков, определяющих данный вид.

Для осознанного творчества это условие вовсе не обязательно. В случае необходимости в процессе поэтического творчества можно отказаться от придуманных двадцати строк поэмы и начать поиск «с нуля». Так часто и поступает художник или ученый в тех случаях, когда он чувствует, что предварительно накопленные представления отягощают творческий процесс. **В этом часто заключается еще один из важных секретов творческого успеха: суметь вовремя выйти из тупика, наметив обходной путь и новую этапную цель (не теряя при этом цель конечную).** Здесь человеку-творцу обычно приходит на помощь воображение, которым созидающая биологические виды Природа, увы, не наделена. **Потому-то Природа и вынуждена созидать длящимися миллиарды лет маленькими шажками, в то время как человек может в один момент озарения «найти точку опоры и перевернуть земной шар».**

Подводя итог, можно сказать, что в процессе осознанного творческого поиска «цель-эталон» может возникнуть как «перспективно» (с помощью воображения, интуиции), так и «ретроспективно» (из накопленного опыта и сохраняемых представлений), а в процессе биологической эволюции Природа создает только «ретроспективные» эталоны.

Современные «эвристические» машины действуют скорее по принципу биологической эволюции, нежели по принципам, которым подчиняется творческий процесс у человека. Создавая очередную строку «автопоэмы», машина не формулирует мыслей, заключенных в данной строке. Она «пристраивает» к строке очередное подходящее по грамматическому согласованию и ритмике слово, случайно выбранное из множества других сохраняемых в ее запоминающем устройстве слов. Так возникают удовлетворяющие формальным правилам грамматики и поэтики, но курьезные с семантической точки зрения сочетания слов.

На начальном этапе «электронная эвристика» быда всего лишь очень грубым приближением к процессам эвристического мышления человека. Обусловлено это в первую очередь тем, что электронная машина действовала по рецепту Кэмпбелла, чередуя стадию чисто случайного поиска (определяемую включением генератора случайных данных) со стадией жестко детерминированного отбора. Следующий этап развития «электронной эвристики» включил в себя отказ от локализованного источника стохастических сигналов и передачу его функций множеству связанных друг с другом логических элементов-ячеек, т. е. **переход от «двузначной» логики к «вероятностной», «серой», «нечеткой» логике.**

В приведенных сопоставлениях процесса биологической эволюции с процессом творческого мышления человека последний процесс трактовался нами односторонне — в одном лишь интеллектуальном аспекте, без учета его эмоциональных сторон. **Между тем хорошо известно, какую большую роль в процессе созидания нового может сыграть, например, творческий экстаз**. Подобные эмоциональные факторы пока не поддаются учету. При моделировании эвристического мышления также не удастся ввести эти факторы в программы электронных машин. Можно снабдить машину специальными датчиками, заменяющими ей все **пять органов чувств человека**, но и при этом остается неясным, как закодировать и ввести в программу машины **чувства, сопровождающие всякий творческий поиск: разочарование, надежду, досаду, тихую радость или бурный восторг**. Этот факт может служить иллюстрацией ограниченности современного кибернетического подхода к анализу сложных взаимосвязанных явлений из области **интеллектуальной, эмоциональной и психологической сфер жизни людей**. Вместе с тем следует признать, что различные сферы духовной жизни предполагают переработку той или иной информации, и потому к их изучению вполне правомерен единый информационный подход. Отсюда, конечно, не следует, что на данном этапе развития теория информации может предложить пригодный для этих целей в достаточной степени разработанный аппарат.

Мы не касались также вопроса о том, каким образом распределяются функции между сознанием и подсознанием, между корой и подкоркой, полагая, что первая из этих проблем относится к области психологии, а вторая — к области физиологии мозга. **С точки зрения теории информации не столь существенно, где «спрятана» детерминированная логика и откуда подается «спонтанный» стохастичный сигнал**. На основании имеющихся данных о структуре и механизмах работы мозга можно предполагать, **что четкая работа сознания осуществляется за счет детерминированных связей, сосредоточенных преимущественно в коре головного мозга, а спонтанными подсознательными ассоциациями управляют стохастичные сигналы, поступающие в кору из подкорковых областей**. Благодаря этим сигналам возникают неожиданные связи между хранящимися в коре функциональными структурами, о которых шла речь раньше.

Можно также предполагать, что открытые физиологией полнообразные процессы возбуждений и торможений определенных областей мозга, связанные с психологическим состоянием индивидуума, в свою очередь, способны стимулировать режим поиска и эвристический процесс путем авторегулирования соотношения случайных и детермини-

рованных связей и приближения его к оптимальному коэффициенту стохастичности $G_{\text{опт}}$.

Анализируя процессы эвристического мышления с точки зрения соотношения формально-логических (алгоритмических) и не подчиняющихся формальной логике (действующих на основе «ослабленных» алгоритмов) процессов, В. В. Бирюков и Е. С. Геллер тоже приходят к выводу о том, что в процессе творческого мышления **на каждом структурном уровне (т. е. на каждом уровне обобщений) соблюдается определенное соотношение случайных и детерминированных связей.** Данное утверждение, естественно, формулируется в выражениях, несколько отличающихся от принятых в этой книге, но существо самих выводов полностью совпадает с результатами, полученными Е. А. Седовым путем анализа соотношений и изменений величин H_0 ; H_n и G . «В настоящее время,— замечают В. В. Бирюков и Е. С. Геллер,— становится все более ясным, что интимные процессы мышления человека осуществляются на разных уровнях абстракции, что при этом в работе интеллекта имеет место смена **внутренних «языков описания».** **На каждом уровне абстракции работают как механизмы («алгоритмы») логического преобразования информации, так и схемы эвристического поиска, осуществляется передача информации с одного уровня на другой».** Отмеченная передача информации от уровня к уровню есть не что иное, как образование информационных связей между «детерминированными кирпичиками: предыдущего уровня с последующими влияниями вновь образованного высокого уровня на низлежащие уровни т. е. функционирование прямой и обратной связи. При этом случайные связи являются принципиально необходимым дополнением к детерминированным схемам формальной логической дедукции, обладающим «ограниченной «объяснительной силой»... в применении к процессам решения и эвристическим процедурам, присутствующий в мышлении человека».

Естественно, что в силу чрезвычайной сложности процесса эвристического мышления до сих пор этот процесс рассматривался без учета неразрывно с ним связанного развития интеллекта. Во всех рассуждениях о соотношении формально-логических и эвристических операций подразумевался как бы «застывший» на данном структурном уровне интеллект. Между тем в диалектической взаимосвязи явлений два эти процесса не отделимы друг от друга, ибо успешное решение любой конкретной научной проблемы всегда сопровождается развитием бытующего над решением этой проблемы творческого ума.

Как и всякий эволюционный процесс, развитие творческих

способностей осуществляется ступенями, путем перехода с более низкого структурного уровня на более высокую и сложную ступень. **Как было показано выше, общей тенденцией развития на каждом структурном уровне является образование детерминированных связей и вытеснение связей случайных, причем предел этой тенденции — полная детерминация. При переходе на новый уровень детерминированные структуры предыдущего уровня становятся своеобразными «кирпичиками» для построения более сложных структур.**

Как было показано выше, плодотворность творческого мышления определяется выбором правильных направлений, оптимальным сочетанием в мышлении стохастичности и жесткой детерминации, способностью к переходам с одного понятийного и концептуального уровня на другой, более сложный. (Именно это последнее качество подразумевается в таком, например, выражении, как «способность мыслить другими категориями».) С переходом на новый структурный уровень мышления возобновляется осуществляемый методом «проб и ошибок» процесс упорядочивания («детерминизации») понятий и представлений на новом, более высоком и емком уровне обобщений. На этом уровне процесс продолжается до тех пор, пока интеллект не образует устойчивых связей между вновь освоенными понятиями, превратив их тем самым в «детерминированные кирпичики», из которых можно строить следующую по степени сложности концептуальную систему. Возможность освоения новых, все более высоких структурно-понятийных интеллектуальных уровней мы определяем обычно как «способность к обобщениям», справедливо считая ее одним из главных показателей развития ума. Распространяя эти выводы на «общечеловеческое» мышление, можно обнаружить тенденцию ко все более широкому синтезу, характерную для современного этапа науки. Эта тенденция проявляется в создании таких теоретических направлений, как кибернетика, теория информации, общая теория систем, общая теория консалтинга, социология, бионика и т. п., и может быть определена как познание «вширь». Познание диалектической взаимосвязи и взаимообусловленности явлений на все более высоких структурных уровнях составляет задачу, пожалуй, не менее важную и актуальную, нежели исследование материальных процессов на квантовом уровне, т. е. познание материи «вглубь».

В свете рассмотренных закономерностей развития мысли, приводящих к образованию детерминированных «кирпичиков», создающих условия для перехода на более высокие уровни обобщений, вполне реальной представляется задача разработки специальных психологических тестов, которые позволили бы после соответствующей статистической

обработки определить относительное количество детерминированных и нестандартных ответов испытуемых и вычислить для них соответствующие коэффициенты стохастичности G . Усредненный коэффициент стохастичности большого количества заведомо творческих индивидуумов оказался бы близким к оптимальному (G_{opt}). Можно предположить, что величина его будет иметь порядок $G_{opt} \cong 1/4$, т. е. будет близка к G_{opt} языка. **Мы полагаем, что критерием творческих способностей индивидуума могла бы служить степень приближения присущего ему параметра G к оптимальной величине.**

Следует иметь в виду, что «эвристичность мышления» проявляется не только в сложных творческих актах, порождающих новые шедевры искусства, новые научные теории и т. п. Это важнейшее свойство человеческого сознания обнаруживается и в повседневном общении, и в выборе тех или иных решений, и в конкретных словах и поступках людей. Благодаря этому свойству мышление и поведение человека всегда в той или иной степени непредсказуемо, неожиданно. Отражением «эвристичности мышления» является рассмотренная нами выше стохастичность языка. Так же как и мысль, для выражения которой он предназначен, язык одновременно детерминирован и непредсказуемо спонтанен. Лишив язык детерминации (т. е. выполнив условие $G = \infty$), люди перестали бы понимать друг друга (каждый человек заново изобретал бы новые правила и слова). Если бы язык был абсолютно лишен спонтанности (т. е. при $G=0$), человеческое общение превратилось бы в обмен общеизвестными истинами и, следовательно, утратило бы всякий смысл.

В спонтанности языка проявляет себя, если можно так выразиться, «повседневная эвристичность мышления» — ведь «маленькие открытия» — это и неожиданно принятое организационное решение, и удачно найденная фраза служебного отчета, и остроумная шутка, и правильно придуманный деловой шаг. Не случайно Луи де Бройль подчеркивал, что французская наука в значительной мере обязана своими успехами тем каламбурам и анекдотам, на которых воспитывался и развивался французский язык. Утверждение это могло бы тоже казаться анекдотичным, если бы оно не заключало в себе глубокий смысл. **Научное открытие всегда «остроумно», так как в его основе лежит неожиданное сопоставление идей или фактов, позволяющее найти в явлениях не обнаруженную до этого времени, а потому и неожиданную для всех связь.**

Из этого, конечно, не следует, что процесс научного или художественного творчества может быть отождествлен с шутливой беседой за общим столом. **Процесс творчества отличается от «бытовой**

эвристики» прежде всего тем, что требует эрудиции, большой подготовительной работы, заключающейся в освоении и критическом переосмысливании опыта предшественников, сложных методов, понятий и представлений, т. е. требует тех самых детерминированных целенаправленных поисков, отбора и переработки информации, эвристическую роль которых отверг Д. Кэмпбелл.

Очевидно, что разработка методики оценки «творческого потенциала» — задача отнюдь не простая, поскольку в зависимости от конкретных наклонностей испытуемого необходим тот или иной подход (человек, наделенный творческими способностями к живописи, может быть неспособен к математическому мышлению и т. п.). И все же задачу эту нельзя считать безнадежной, поскольку даже повседневный опыт свидетельствует о том, что всем творческим людям наряду с индивидуальными особенностями присущи и некоторые общие черты. Одной из них является определенная спонтанность их действий, приводящая к тому, что, решая несколько раз одну и ту же задачу, творческий человек (в отличие от человека, склонного к «формализации» своих слов и поступков) будет каждый раз вносить в решение нечто свое. При значительных превышениях G_{opt} эта спонтанность представляет даже определенную опасность.

Другая общая черта индивидуумов, склонных к эвристическому мышлению, заключается в том, что каждый из них априорно допускает возможность ошибочных выводов и потому, получив противоречащие этим выводам сведения, готов искать истоки ошибок и как можно скорее их исправлять. Человека, склонного строить свои концепции по строго формальным правилам, убедить в ошибочности его выводов (даже при очевидной неправомерности исходных посылок) бывает, как правило, много сложнее.

Вполне очевидно, что вопрос о механизме творческого мышления самым тесным образом связан с проблемой познания материального мира, и потому многие выводы, касающиеся соотношения случайных и детерминированных связей в конкретном творческом акте, могут быть распространены и на развитие научного мышления в целом. В этой связи хотелось бы заметить, что именно в интересующем нас аспекте критикуются И. В. Кузнецовым некоторые взгляды Л. Бриллюэна, высказанные последним в его книге «Научная неопределенность и информация». В послесловии к указанной книге, дискутируя с автором, утверждающим, что всякие «измы» лишают свободы творческую мысль, И. В. Кузнецов приходит к тем же выводам о соотношении «свободы» и «ограничений» («внутренней дисциплины») научного мышления, которые выше были сформулированы нами на основе анализа единичного

творческого процесса и процесса эволюции языка.

«Можно ли считать подлинно научным, — пишет И. В. Кузнецов, — столь «свободное» мышление, что оно решительно ничем не ограничено, которое, не считаясь ни с какими законами природы, ни с установленными законами логики, с добытыми прежде результатами познания, «творит» все, что ему вздумается? Конечно, нет! **«Свобода мышления» — действительно научного мышления — на самом деле предполагает весьма жесткую внутреннюю дисциплину: подчинение определенным законам логики, требованиям доказательности, ясности, последовательности, правилам образования и применения научных понятий и теорий, требованиям соответствия познанным законам природы, соответствия объективной реальности и подчинения строгим критериям истинности.** Конечно, эти требования сами меняются и уточняются в ходе развития познания, некоторые порой даже ломаются совсем. Но «свободная мысль» всегда, даже при наличии в ней таких элементов, выходящих за рамки обычных логических форм, как фантазия, воображение, интуиция, так или иначе согласуется с указанными требованиями и именно поэтому оказывается эффективной. Отрицать это — значит принять всерьез, например, заявление невежды о том, что его «свободное мышление» о переменных математических величинах «ограничено» правилами дифференциального и интегрального исчисления, или сочувствовать утверждениям некоего изобретателя о том, что физика с ее законами сохранения и превращения энергии и вторым началом термодинамики ограничивает «свободу мышления» в создании проектов вечных двигателей первого и второго рода.

Конечно, и математика, и физика, как и все другие науки, благодаря установленным ими законам ограничивают определенным образом «свободу мышления». Но это по существу ограничения от ошибок и путаницы, а не преграды для творчески действующего научного мышления».

Проделанный нами анализ позволяет сделать вывод, что крайняя точка зрения Л. Бриллюэна об отрицательном влиянии всех без исключения «измов» сама тоже является порождением определенного «изма», а именно: метафизического подхода к процессу познания, неизбежно приводящего, как мы уже убедились, к абсолютизации одной из сторон этого диалектически противоречивого процесса (в данном случае — к абсолютизации «научной неопределенности») и к игнорированию другой стороны (определенных «ограничений», обусловленных наличием априорной информации и научных теорий).

Достаточно проследить основные этапы развития взглядов на природу эвристического мышления, чтобы обнаружить удивительное соответствие между господствующей на каждом этапе трактовкой объективного мира и

попытками объяснения механизма движения творческой мысли, познающей и отражающей этот мир.

В период расцвета древнегреческой философии, провозгласившей гармонию и единство основных законов объективного мира, возникла гносеологическая теория Платона, утверждавшего, что любые картины внешнего мира являются продуктом «чистого» разума, частными случаями, выводимыми дедуктивным методом из общих идей. В эпоху Возрождения на смену умозрительным построениям схоластов, трактовавшим мир «по Аристотелю», пришла тенденция расчленения сложных явлений и эмпирической проверки любых научных идей. **В этот период возникла эвристическая концепция Ф. Бэкона, согласно которой открытия могут быть сделаны не путем дедуктивных логических выводов из созданных разумом общих конструкций, а исключительно путем индуктивного обобщения добытых опытом фактов.** Целое тысячелетие на созданную Аристотелем формальную логику смотрели как на главный инструмент доказательства истин. **Ф. Бэкон противопоставил дедукции индукцию и сделал попытку превратить индуктивную формальную логику в «логику открытий», позволяющую уверенно отыскивать эти истины.** В интерпретации Ф. Бэкона индуктивная логика превратилась в некий универсальный, доступный каждому инструмент для добывания неизвестных истин. Чтобы делать открытия, достаточно лишь, строго следуя установленным логикой правилам, наблюдать и обобщать. Однако индуктивная логика, естественно, не оправдала возложенных на нее Ф. Бэконом надежд. «Расчет на то, что, вооружив ею человечество, удастся добиться невероятного изобилия открытий, оказался тщетным,— замечает М. Г. Ярошевский. — **Выяснилось, что индуктивная логика столь же бессильна перед задачей стимуляции и регуляции процессов мышления, как и дедуктивная. Стало очевидно, что правила наблюдений и обобщений, как бы хороши они ни были, так же недостаточны для добывания истины, как и правила построения дедуктивных умозаключений».**

Вот почему в противовес детерминистской эвристической концепции Ф. Бэкона **К. Бернар высказал иную гипотезу о сущности творческого процесса.** К. Бернар утверждал, что в процессе творческих поисков ученый ставит опыты вовсе не для того, чтобы, добыв груды разрозненных фактов, затем извлечь из них методом индукции некий общий закон. **Согласно К. Бернару, опыты нужны для проверки априорно выдвинутых гипотез. А что такое гипотеза? Это продукт неожиданных ассоциаций, плод «спонтанного гения», порождение непредсказуемых импровизаций выдающегося ума.**

Нетрудно заметить, что выдвинутая К. Бернаром трактовка эвристики

через понятия «непредсказуемости» и «спонтанности» находится в связи с утверждавшимися в это же самое время вероятностными воззрениями на окружающий мир. Но, как это часто бывает в противоречивом процессе развития научной теоретической мысли, отрицание одной крайности породило противоположную крайность: вслед за признанием «спонтанности гения» предпринимались попытки вовсе отвергнуть роль формальной логики в процессе создания и разработки новых научных концепций. В частности, Ф. Шиллер обвинял формальную логику в том, что она произвольно, «соответственно своим предрассудкам» искажает истинные процедуры исследований и научного поиска и потому бессильна регулировать научный прогресс. Параллельно с этим в процессе формирования характерных для этого периода мировоззренческих концепций отказ от жесткого детерминизма Лапласа породил противоположную детерминизму теорию, согласно которой совокупность спонтанных случайных явлений постепенно разрушает присущий миру порядок и в конце концов приведет Вселенную к «тепловой смерти».

Происходящая научно-техническая революция примирила построенные на формальной логике детерминированные программы со спонтанной эвристикой электронных машин. Однако в попытках нового объяснения механизмов творческого мышления на базе эвристического программирования наметился определенный примитивизм. Если в эвристической программе для ЭВМ могут быть четко вычленены во времени и в пространстве жестко детерминированная и стохастическая части, то в сложном потоке человеческой мысли бесполезно искать границы, разделяющие эти диалектически связанные компоненты, как это пытаются делать У. Р. Эшби и Д. Кэмпбелл. В поисках компромисса между стохастичностью и детерминацией мышления У. Р. Эшби и Д. Кэмпбелл остановились на полпути.

Диалектическим решением этой проблемы является признание того факта, что ***неразрывность случайных и детерминированных связей характерна для всех структурных уровней и стадий мышления и для всех этапов развития творческой мысли.***

В свое время А. С. Пушкин очень точно охарактеризовал эту особенность постигающего окружающий мир человеческого сознания: «Не говорите: *иначе нельзя было быть*: коли было бы это правда, то историк был бы астроном, и события жизни человечества были бы предсказаны в календарях, как и затмения солнечные. Но провидение не алгебра. Ум человеческий, по простонародному выражению, не пророк, а угадчик, он видит окружающий общий ход вещей и может выводить из оногое глубокие предположения, часто оправданные временем, но невозможно ему предвидеть *случая* — мощного мгновенного орудия провидения». Эти слова А. С. Пушкина свидетельствуют о том, что в

решении проблемы соотношения стохастичности и детерминации в окружающем мире интуиция поэта оказалась сильнее, чем детерминистская логика, которой следовал математик Лаплас.

6.4.3. Причины случайностей

Вопрос о соотношении категорий «причинность» и «случайность» до сих пор остается открытым, так как пути его решения, предложенные различными научными направлениями, нельзя признать удовлетворительными. Так, например, по нашему мнению, не достигают цели попытки введения таких понятий, как «вероятностная (неопределенная) причинность», поскольку между причиной и следствием, по определению, должна предполагаться *не случайная, а необходимая генетическая связь (причина порождает следствие)*.

С целью обоснования принципа «вероятностной причинности» Л. Бриллюэн пытается определить границы, разделяющие понятия «причинность» и «детерминизм». Согласно Л. Бриллюэну, «детерминизм» предполагает «долженствование»: причина должна порождать такое-то и такое-то следствие (и часто добавляется «сразу же»!). *Причинность* принимает утверждение, содержащее «может»: определенная причина может вызвать такие-то и такие-то следствия с некоторыми вероятностями и некоторыми запаздываниями.

Неправомерность предлагаемой Л. Бриллюэном трактовки причинности может быть аргументирована путем следующих логических построений. Допустим, что существует причина C_1 , которая, согласно Л. Бриллюэну, способна порождать n различных следствий, имеющих различные вероятности: $p_1, p_2, \dots, p_k, \dots, p_n$. Тогда в одном случае по причине C_1 может произойти k -е событие, имеющее вероятность p_k , в другом — любое другое событие из общего числа возможных событий n . Однако при этом возникает естественный вопрос о *причине* того, что в первом случае произошло k -е событие, во втором $(k + 1)$ -е событие, в третьем $(k - 1)$ -е событие, и т. д. Другими словами, для того, чтобы обосновать принцип причинности с учетом определения, предложенного Л. Бриллюэном, приходится предположить, что между исходной причиной C_1 и n ее следствиями действует случайным образом некая промежуточная, коммутирующая причина C_2 .

Разрешением этого противоречия является предположение о том, что C_1 — это не единственная отдельно взятая причина, а целая совокупность (система) различных причин. В таком случае мы приходим к выводу о том, что *между совокупностями множества причин и множества следствий может существовать многозначная вероятностная связь*.

При этом *между каждой отдельно взятой причиной и ее прямым* (и, как справедливо отмечает Л. Бриллюэн, «сразу же порожденным», т. е. не отделенным от исходной причины промежуточными воздействиями) *следствием* необходимо осуществляется **однозначная, жестко детерминированная связь**.

Отсутствие четкого анализа соотношения объективных вероятностных связей с принципами причинности и детерминизма явилось почвой для попыток опровержения принципа причинности и провозглашения индетерминизма. Примером этого может служить статья М. Борна «*Действительно ли классическая механика детерминистична*». Индетерминистским тенденциям противостоит диалектико-материалистическая точка зрения. М. Э. Омеляновский справедливо отмечает: **«Квантовая механика признает силовые воздействия на микрообъект и, значит, представляет причинную теорию, так как эти воздействия необходимо порождают соответствующие изменения в дальнейшем ходе движения микрообъектов»**. Однако для всестороннего обоснования принципа причинности необходимо еще показать, что в этой квантовомеханической форме движения *отсутствуют* такие явления, в которых *нарушается причинно-следственная* связь. А тут вновь возникает нерешенный вопрос **об источниках, обуславливающих вероятностный характер движения микрочастиц**.

Как отмечает М. Э. Омеляновский, **«силовые воздействия представляют причину. Те связи во времени (то есть протекание во времени атомных процессов), которые отражает волновое уравнение, включают в себя также и указанные причинные связи»**. Это верно, но помимо этих связей, имеющих, несомненно, причинный характер, волновое уравнение включает в себя еще и образующиеся по менее очевидным причинам *вероятностные связи*. И для того, *чтобы решать вопрос о соблюдении или нарушении принципа причинности в квантовомеханическом движении, следует анализировать не только силовые воздействия на квантовомеханические формы движения, но и этот выражаемый волновым уравнением Шредингера вероятностный процесс*. В свете рассмотренных нами энтропийно-информационных соотношений к решению проблемы о соотношении между принципом причинности и случайностью явлений может быть найден **новый подход**.

До привлечения функции

$$\sum_i p_i \log p_i$$

к анализу энтропийно-информационных отношений понятиями

«стохастичность» и «жесткая детерминация» характеризовалось либо наличие, либо полное отсутствие вероятностных внутрисистемных связей, а оценки частичной детерминации (частичной стохастичности) носили чисто качественный характер. Как было показано выше, функция

$$\sum_i p_i \log p_i$$

и вычисленный с ее помощью коэффициент стохастичности G позволяют производить анализ и сравнительную количественную оценку любых переходных стадий детерминации, начиная от полной стохастичности (максимальной энтропии) и вплоть до жесткой детерминации. Поэтому привлечение функции $\sum_i p_i \log p_i$ к анализу вопроса о происхождении и причинах случайных явлений напрашивается само собой.

Нечеткость разграничения объективной и субъективной сущности вероятностных и информационных описаний явлений породила определенную путаницу в терминологии, характеризующей стохастические процессы. Называя один и тот же процесс «хаотическим», «случайным», «стохастическим», «флюктуационным», «спонтанным», «статистическим», «вероятностным», «недетерминированным», «неупорядоченным», «непредсказуемым», «неопределенным», следует иметь в виду, что каждый из перечисленных терминов имеет особый смысловой оттенок. **Термины «стохастический», «флюктуационный», «хаотический», «неупорядоченный», «недетерминированный», «спонтанный» характеризуют объективные свойства процесса. Термины «вероятностный», «статистический» наряду с объективными свойствами процесса отражают и методы, с помощью которых исследуется данный процесс. Термины «неопределенный», «непредсказуемый» выражают исключительно субъективную оценку процессов или систем (процесс кем-то непредсказуемый и для кого-то неопределенный).**

(С точки зрения семантики термины «детерминированный» и «определенный» равнозначны. Однако в научной терминологии термин «детерминированный» приобрел иной оттенок и применяется для характеристики объективных свойств явлений («детерминированная система», «детерминированный процесс»). Напротив, выражение «определенная система» обычно подразумевает наблюдателя, которым эта система определена. Термин «стохастический» произошел от греческого слова «стохастика», переводимого как «догадка». В современной науке этот термин, так же как и термин «детерминированный», приобрел объективный смысл.

Понятие «детерминация» (кроме его варианта — «жесткая

детерминация») обычно так или иначе связывалось с вероятностным описанием, однако до появления теории информации эта связь осознавалась только интуитивно, поскольку не существовало меры, позволяющей производить количественные оценки степени детерминации систем (очевиден лишь тот факт, что жестко детерминированная связь между наступлениями явлений A и B характеризуется условиями $p_A(B) = 1$ и $p_B(A) = 1$).

Попытаемся уточнить взаимосвязь этих двух понятий, анализируя различные случаи распределения вероятностей в полной группе событий с помощью функции $\sum_i p_i \log p_i$. Напомним, что полной группой в теории вероятностей называют группу событий, удовлетворяющих условию нормировки

$$\sum_i p_i = 1;$$

последнее означает, что в определенные моменты времени, чередуясь в случайном порядке, должны происходить события, составляющие полную группу, кроме них никаких событий происходить не должно. Таким событием является, например, появление в сообщении чередующихся букв из алфавита, имеющего n букв.

Теперь рассмотрим два крайних случая.

Случай 1 — жесткая детерминация совокупности n событий, выражающаяся условиями:

$$p_k = 1;$$

$$p_1 = p_2 = \dots = p_{k-1} = p_{k+1} = \dots = p_n = 0;$$

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i = 0.$$

Случай 2 — максимальная стохастичность совокупности n событий, выражающаяся условиями:

$$p_1 = p_2 = \dots = p_n = \frac{1}{n};$$

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i = H_{\max}.$$

Простым и наглядным примером максимальной стохастичности совокупности n событий при $n = 2$ является выпадание «орла» и «решетки» при многократном подбрасывании симметричной монеты, для которой $p_1 = p_2 = 1/2$. Противоположным примером жесткой детерминации может служить асимметричный предмет (по типу детской игрушки «Ванька-встанька»), положение которого в силу асимметрии центра

тяжести полностью предопределено ($p_1 = 1, p_2 = 0$). Во всех промежуточных случаях распределения вероятностей полной группы событий, отличных от рассмотренных случаев 1 и 2 (т. е. когда вероятности p_1, p_2, \dots, p_n не равны друг другу и ни одна из них не равна 1), совокупность в целом ни жестко детерминирована, ни полностью стохастична (чисто случайна), а соответствуя характеристике ряда ученых, есть одновременно «и той и другой».

Из рассмотрения случая 1 следует вывод о том, что необходимый характер одного из n событий полной группы исключает как возможность всех остальных событий, так и стохастичность всей совокупности (это следствие условия $\sum_i p_i = 1$).

Характеризуемая вероятностью p_k степень *случайности* любого (k -го) события из группы n событий не может быть критерием стохастичности (или, напротив, детерминированности) всей совокупности. Так, например, зная, что наступление события k имеет очень малую вероятность p_k нельзя определить с помощью функции $\sum_i p_i \log p_i$ степень детерминированности всей совокупности до тех пор, пока неизвестно распределение вероятностей для всех элементов совокупности $p_1, p_2, \dots, p_k, \dots, p_n$. Однако даже по вероятности одного из событий p_k полной группы n можно иногда сделать некоторые качественные выводы о *детерминированности* совокупности.

Именно: если $p_k \neq 1/n$, то вероятности группы распределены неравномерно (т. е. не соблюдено условие

$p_1 = p_2 = \dots = p_k = \dots = p_n$) и, следовательно, совокупность событий обладает какой-то степенью детерминированности. Если p_k велико, можно утверждать априорно, что вся совокупность имеет высокую степень детерминированности, так как в силу условия $\sum_i p_i = 1$ при большом p_k значения

$$p_1, p_2, \dots, p_{k-1}, p_{k+1}, \dots, p_n$$

заведомо невелики.

Рассмотренные нами примеры — наглядная иллюстрация известного тезиса, согласно которому *вероятностные трактовки представляют одну из форм детерминизма*.

Рассмотренные соотношения позволяют сделать еще один важный вывод: они показывают, что само понятие независимости событий в полной группе относительно. В самом деле, независимость событий заключается только в том, что появление события k никоим образом не влияет на вероятность событий $k + 1, k + 2$ и т. д. (как известно, в теории

вероятностей зависимость между событиями k и $k + 1$ выражается через условную вероятность $p_k(k + 1)$. Если события k и $k + 1$ независимы, то $p_k(k + 1) = p(k + 1)$.

Вместе с тем между всеми событиями полной группы имеется зависимость (связь), выражающаяся условием нормировки

$$\sum_i p_i = 1$$

и проявляющаяся в том, что увеличение (уменьшение) вероятности любого из событий полной группы влечет за собой соответствующее уменьшение (увеличение) суммарной вероятности остальных $n - 1$ событий.

Другими словами, события полной группы могут быть *независимыми* лишь для случаев *стационарных стохастических процессов*, т. е. таких процессов, статистические характеристики которых (в частности, вероятности отдельных событий) не зависят от времени. В случае *динамических стохастических процессов* (а именно такие процессы и интересуют нас в случае исследований эволюционных изменений систем путем оценки изменений количества накапливаемой системой информации с помощью функции

$$\sum_i p_i \log p_i$$

распределение вероятности p_i изменяется во времени. При изменении распределения вероятностей p_i возникает взаимная зависимость событий, определяемая условием $\sum_i p_i = 1$, и изменяется соотношение степени случайности и детерминированности, определяемое с помощью функции

$$\sum_i p_i \log p_i.$$

Помимо общей взаимосвязи, выраженной условием $\sum_i p_i = 1$, между событиями, образующими полную группу, могут существовать дополнительные межэлементные связи. Такие связи учитываются с помощью условных вероятностей. **Можно отметить четыре характерных случая таких связей.**

1) $0 < p_A(B) < 1$, $p_A(B) > p(B)$. Данные условия означают, что между событиями (элементами) A и B существует в той или иной степени коррелированная стохастическая (случайная) связь ($p_A(B)$ означает вероятность события B при условии, что уже совершилось событие A ,

связанное случайным образом (коррелированное) с событием B . Степень корреляции зависит от того, какой «силой» обладает знак $>$ в выражении $p_A(B) > p(B)$.)

2) $p_A(B) = 1$. Это условие означает, что между событиями (элементами) A и B существует жестко детерминированная связь,

3) $p_A(B) = p(B)$. Данное условие означает, что связь между A и B отсутствует (A и B независимы).

4) $p_A(B) = 0$. При этом условии события (элементы) A и B несовместимы (появление A полностью исключает возможность появления B).

На основе рассмотренного соотношения вероятностных и детерминированных связей в полной группе событий можно ввести ряд полезных общих определений.

Мерой случайности (необходимости) единичных событий является их вероятность.

Так, например, реализацию события, имеющего вероятность $p_1=0,01$, можно расценивать как «почти чистую случайность», а реализацию события, вероятность которого составляет $p_2 = 0,99$, следует считать «почти необходимой».

Мерой стохастичности совокупности n событий служит величина

$$H_0 = - \sum_i p_i \log p_i.$$

Мерой детерминированности же совокупности является величина H_n , определяемая как

$$H_n = H_{\max} - H_0,$$

причем H_{\max} и H_n определяются с помощью одной и той же функции $\sum_i p_i \log p_i$, но при разных условиях:

H_{\max} — при

$$p_1 = p_2 = \dots = p_n = \frac{1}{n};$$

H_0 — при реальном распределении вероятностей.

Все выводы, относящиеся к совокупности n событий, могут быть распространены на системы, обладающие n различными признаками (т. е. имеющие «алфавит», состоящий из n «букв»).

Критерий детерминированности системы H_0 характеризует одновременно и ее упорядоченность, определяемую количеством информации, сохраняемой данной системой, т. е.

$$I_0 = H_n - H_{\max} = H_0.$$

Проделанный нами анализ дает основания признать несостоятельность отмеченных Ю. В. Сачковым попыток некоторых авторов соотносить

категорию «случайность» только с единичными событиями, а категорию «необходимость» — со множеством событий. Понятия «случайность» и «необходимость» — суть общие категории, относящиеся как к единичным явлениям, так и к их совокупности. Если вероятность единичного явления отлична от единицы, то реализация его будет случайной. Совокупность взаимосвязанных случайно изменяющихся параметров представляет собой случайный (стохастичный) процесс. Необходимость единичного события A выражается условием $p(A) = 1.$ В случайных процессах необходимость проявляется в виде устойчивости усредненных статистических характеристик. Вместе с тем в теории случайных процессов и в теории информации существуют и такие понятия, которые не относятся к единичным событиям, а характеризуют лишь совокупность событий. Бессмысленно, например, говорить об энтропии единичного события. Соответственно, только к совокупности (двух и более) событий приложимы такие понятия, как неопределенность, детерминированность, упорядоченность и стохастичность.

Как справедливо отмечает Н. В. Пилипенко, наука «дает огромный материал для более глубокого понимания с позиций материалистической диалектики вопроса об основаниях, о причинной обусловленности необходимого и случайного».

До сих пор при анализе причин возникновения случайных связей в качестве исходной модели подразумевались некие абстрактные системы или процессы, в которых заведомо преобладают жестко детерминированные связи, нарушение которых происходит в силу каких-то не всегда очевидных причин. Между тем с точки зрения «онтологии» причинно-следственных связей более правомерным оказывается подход к тому же вопросу, так сказать, с другого конца.

В самом деле, если нет никаких причин, влияющих на распределение вероятностей тех или иных массовых явлений, вероятности должны быть или равны друг другу, или распределены по Гауссовой кривой. Так ведут себя молекулы в замкнутом объеме, если нет нарушающих равновесное состояние газа причин. Так чередуются грани подбрасываемой игральной кости, если нет особых причин (например, нарушений симметрии), заставляющих, например, грань с пятью очками выпадать чаще грани с одним очком. Так же ведут себя люди, выбирая наугад один из многих предметов (например, лотерейный билет), если нет причин, заставляющих отдать предпочтение одному предмету или группе предметов, выделяемых по какому-то признаку из числа остальных.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что при анализе соотношения категорий причинности и случайности с «онтологической»

точки зрения более убедительную исходную модель представляет равновероятное распределение («первозданный хаос»), *отклонение* от которого происходит в силу тех или иных объективных *причин*. **Наиболее общей причиной является воздействие внешней среды, приводящее к накоплению информации и к эволюции, выражающейся в дифференцировке значений p_i функции**

$$\sum_i p_i \log p_i.$$

В случае полной изоляции от среды мы имеем дело уже не с открытой, а с закрытой системой которая пребывает в состоянии термодинамического равновесия и максимальной энтропии именно в силу *устранения внешних причин*. Такая трактовка природы стохастических процессов совпадает с точкой зрения П. Лампрехта, называющего *«негативной случайностью» такую случайность, которая обусловлена не воздействием, а отсутствием тех или иных факторов и причин.*

До сих пор при рассмотрении проблем соотношения категорий случайности и причинности делались попытки найти *порождающие случайность причины* и не учитывалась возможность возникновения случайностей, обусловленных *отсутствием устраняющих их причин*. Этот факт следует расценивать как определенную дань сложившимся в науке традициям, проистекающим из априорного убеждения, что мир жестко детерминирован, а всякое нарушение детерминированных связей возникает только в силу действия случайных причин. На самом же деле вопрос «Почему мир не чисто случаен?» более правомерен, чем неоднократно обсуждавшийся вопрос о том, почему возникает объективная случайность, отвергающая жестко детерминированный лапласовский мир.

Практическое подтверждение этой часто используемой, хотя и не до конца осознанной, методологии — поиски причин несчастных случаев, возникающих на улицах города или в производственных цехах. При анализе такого рода случайностей всегда стараются установить те отсутствующие (бездействующие) причины (неполноту существующих инструкций, невыполнение их предписаний и т.п.), которые могли бы предотвратить это событие или, переходя к принятой нами терминологии, более жестко детерминировать процесс, отклонения в котором породили несчастный случай. Очевидно, что при полном отсутствии правил, «детерминирующих» городское движение, на улицах города воцарился бы хаос и каждый перекресток превратился бы в место непрекращающихся катастроф.

При дальнейшем анализе соотношения категорий случайности,

необходимости и причинности мы будем исходить из того, что **всякое массовое явление изначально стохастично, а уменьшение этой стохастичности (детерминация), выражающееся в уменьшении энтропии, происходит в силу тех или иных причин.**

Влияние различных причин на стохастичные явления и процессы обнаруживается в изменении их интегральных статистических характеристик: распределения вероятностей, математического ожидания, дисперсии и т. п. Представим себе, что из 1000 бросков монеты «орел» выпал не 500, а 551 раз. Вероятность того, что отклонение это в данной серии опытов произошло случайно, совершенно ничтожна (10^{-3}). Можно уверенно утверждать, что подобное отклонение обусловлено какой-то объективной причиной. Наиболее вероятная причина — асимметрия монеты. Это предположение можно проверить путем тех или иных измерений. Если оно не подтверждается, остается искать причину в различии бросков, например, можно предположить, что бросавший монету путем тщательной тренировки добился того, что «орел» выпадает чаще в тех случаях, когда до броска монета положена вверх «орлом». Как ни сложна подобная тренировка, все же нельзя полностью отрицать возможность такого результата, поскольку при заданных исходной и конечной точках полета выпадание той или иной стороны монеты определяется только **ее исходным положением, местом и силой толчка.** Для стабилизации этих факторов и увеличения вероятности выпадения одной из сторон монеты можно сконструировать специальный механизм. Однако в пределе этот механизм должен быть *абсолютно точным*, так как работа, совершаемая во время переворачивания идеально симметричной монеты, равна нулю, поскольку ее потенциальная энергия в поле земного тяготения одинакова для положения вверх «решеткой» или вверх «орлом». Это значит, что **бесконечно малое увеличение силы броска монеты будет давать ее дополнительный переворот.** Таким образом, мы еще раз приходим к тому же выводу: **при отсутствии детерминирующей причины (асимметрии) возникает максимально стохастичный (равновероятный) процесс.**

Как было показано выше, детерминированная связь между воздействующей причиной и вероятностными характеристиками явления приводит к изменению величины энтропии, определяемой с помощью

функций $\sum_i p_i \log p_i$ или $\int_{-\infty}^{+\infty} W(x) \log W(x) dx$. Однако установление

той или иной степени детерминации далеко не всегда вскрывает причины, порождающие эту детерминацию. *Свободное падение тел жестко детерминировано, но в соответствующем уравнении не содержится никаких указаний ни на причину падения того или иного*

тела, ни на причину изменения его скорости. В противовес этому второй закон Ньютона ($F = ma$) говорит о том, что ***сила F является «причиной» движения тела с ускорением a .***

Среди статистических систем и процессов можно встретить такие, когда причина, порождающая отклонения от равномерного или нормального распределения вероятностей, известна априори. Так, например, очевидно, что причина различия вероятностей букв в обычных текстах заключается в грамматических и фонетических правилах языка. Однако сплошь и рядом причина бывает не столь очевидной. Э. Борель приводит следующий пример. Статистикой установлено, что рождаемость мальчиков превышает рождаемость девочек приблизительно на 1%. Этот факт проверен неоднократно, в различное время в различных странах, поэтому есть все основания утверждать, что он причинно обусловлен, но характер этих причин не известен. Можно предполагать и различие условий оплодотворения, и различную выживаемость в эмбриональной стадии для мужского и женского организмов, однако все это — гипотезы, для проверки которых необходимы специальные исследования.

Устойчивое отклонение интегральных статистических характеристик от первоначальных значений всегда происходит в силу тех или иных объективных причин и может служить сигналом к их отысканию. Например, при массовом изготовлении деталей погрешности размеров являются случайными величинами, вероятности которых подчиняются нормальному закону распределения с определенной дисперсией σ . Если на каком-то этапе изготовления и контроля вдруг обнаруживается, что дисперсия изменилась, производство, как правило, приостанавливается с целью выяснения *причины*. Последней может быть ухудшение точности изготовления контролируемых деталей вследствие нарушений регулировки станков, ухудшение точности измерений в результате частичной неисправности измерительного прибора, замена или утомление изготовителя деталей или их контролера и т. п. Множество аналогичных примеров можно встретить в области экономики и социологии, где изменение статистических характеристик, связанных с распределением продукции, финансов, спроса и предложения, с текучестью кадров, динамикой заболеваемости, преступности и т. п., всегда служит сигналом, свидетельствующим о появлении каких-то тормозящих или стимулирующих факторов, т. е. еще не учтенных *причин*.

Заключая сказанное, можно сделать вывод о главной познавательной функции статистических методов: ***они указывают на существование той или иной причины, действующей на процесс (хотя в большинстве случаев и не вскрывают ее).***

Установление причины или тем более их совокупности, приводящей к

тем или иным отклонениям от *равновероятного или нормального распределений*, сопряжено, как правило, с большими трудностями. С точки зрения методологии статистических исследований — в тех случаях когда это возможно,— рациональнее решать обратную задачу: заведомо определив причину, исследовать методами статистики ее влияния на вероятностный закон. Если указанным способом единожды установлена связь между причиной и изменением статистических характеристик того или иного процессов, то в случае повторения изменений отыскать причину уже не составит большого труда. Именно такая методология статистических исследований применяется, как правило, в экономической и социологической областях.

Проделанный в этом разделе анализ имел своей целью установить детерминирующие те или иные случайные явления объективные причины. В то же время мы отмечали, что во многих случаях статистические характеристики могут зависеть и от причин субъективных. Так, например, весьма типична ситуация, когда разным событиям и исходам априорно приписываются равные вероятности потому, что объективные статистические характеристики процессов и порождающие их причины не известны. Иногда даже жестко детерминированные связи и строго обусловленные исходы трактуются как случайные только в силу того, что не выявлена объективно существующая связь.

На вопрос «будет ли завтра дождь?» может последовать в разной степени обоснованный ответ. Можно сказать «нет» наугад. Тогда вероятность того, что дождь завтра все-таки будет, составит 0,5. А можно предварительно изучить данные метеослужбы. Тогда ответ «нет» может почти полностью (скажем, на 90%) исключить возможность дождя. Однако и в этом случае нельзя дать полной гарантии, во-первых, потому, что на погоду оказывают влияние объективно стохастические, т. е. однозначно непредсказуемые, факторы, а во-вторых, потому, что даже самая совершенная метеослужба не способна учесть все статистические взаимосвязи огромного комплекса всевозможных причин.

Задача всякого статистического исследования заключается в первую очередь в том, чтобы устранить субъективность априорных оценок и установить вероятностные зависимости, соответствующие объективным связям явлений.

Математическая статистика имеет хорошо разработанный аппарат, позволяющий оценивать достоверность того, что вероятностное описание каких-то конкретных процессов («статистическая гипотеза») соответствует реальному положению дел.

Изначальная стохастичность исследуемых статистической физикой систем обусловлена массовым характером взаимодействий их элементов.

Именно этим обстоятельством объясняются рассмотренные А. Я. Хинчиным неудачи многочисленных попыток построения статистической физики на основе анализа жестко детерминированного механического движения молекул с помощью законов Ньютона. **Авторы многих работ пришли к выводу о несводимости рассматриваемых статистической физикой массовых молекулярных явлений к законам жесткой детерминации.**

Наблюдаемый в опытах дифракции вероятностный характер движения электронов многие ученые тоже склонны были приписывать взаимным влияниям массы этих частиц в электронном луче. Однако эксперименты В. А. Фабриканта, Н. Г. Сушкина, Л. М. Бибермана, проведенные с единичными электронами, пропущенными через кристалл, показали, что даже при устранении взаимодействия электронов характер дифракции не изменяется: множество электронов, пропущенных через кристалл поодиночке, тоже дает на экране кольца, описываемые вероятностной ψ -волной. Ряд физиков данное свойство называют иногда «свободой воли» электронов или других микрочастиц.

Есть мнение, что отклонения эти обусловлены взаимодействием электрона с прибором, с помощью которого экспериментатор пытается зафиксировать импульсы и координаты частиц. Д. И. Блохинцев считает, что круг рассматриваемых взаимодействий надо расширить, включив в него всю «макроскопическую обстановку» (в том числе и упомянутый прибор). Эти поиски причины неопределенности где-то вне самого квантовомеханического движения, по нашему мнению, есть не что иное, как попытка «детерминизировать» микромир, лишить его *изначальной стохастичности*, приписанной ему еще Эпикуром и Лукрецием, стремившимися на этой основе опровергнуть утверждаемый древнегреческими атомистами полный детерминизм и вытекающий из него фатализм. Отрицание детерминизма и фатализма неизбежно приводит к признанию принципиальной неопределенности квантовомеханического движения и к вытекающему из этого выводу о том, что введенное В. Гейзенбергом соотношение неопределенности в принципе отвергает и жесткую детерминированность этого вида движения, и его однозначное описание вследствие **невозможности определить одновременно и абсолютно точно и координаты и импульсы движущихся частиц.**

Причину «изначальной стохастичности» микромира, по-видимому, надо искать не в «макроскопической обстановке», — она лежит на более глубоком субквантовом уровне. Не исключено, что на этом уровне действует совокупность каких-то пока еще не исследованных явлений, каждое из которых строго детерминировано, а все вместе они, подобно молекулам максвелловского газа, образуют

статистическую систему, имеющую с каждой микрочастицей не детерминированную, а вероятностную связь. Возможно, что именно это взаимодействие с субквантовым уровнем и определяет характер поведения отдельно взятого электрона, проявление его «свободной воли».

Нет сомнения в том, что и макроскопическая обстановка оказывает существенное влияние на статистические закономерности квантовомеханического движения. **Но *влиять* — это не то же самое, что *порождать*.** Взаимодействие с макроскопическими объектами может влиять только на интегральные статистические характеристики молекулярного или квантовомеханического движения. В квантовой физике влияние макроскопической обстановки выражается в форме граничных условий, накладываемых на волновую функцию, описывающую статистические свойства квантовомеханических систем. Для наглядности можно представить себе, что каждая квантовая частица как бы «зажата» между двумя «слоями».

«**Нижний слой**» — это субквантовый (микроскопический) уровень. Этот слой является флуктуационно «зыбким» и стохастично «подвижным», чем и обусловлен вероятностный характер движения «лежащих» на этом «слое» частиц. **Стохастичность эта не абсолютна:** определенная степень детерминированности движения на квантовом уровне выражается в неизменности квантовых чисел, четности, странности, спинов и т. п.

«**Верхний слой**» — макроскопический уровень. **Этот «слой» обладает «жесткостью».** Детерминированные связи элементарных частиц с этим «слоем» ограничивают стохастичность их движения: изменения «верхнего слоя» приводят к изменениям интегральных статистических характеристик. Примером такого влияния макроскопического уровня на микропроцессы может служить изменение распределения вероятностей энергий и скоростей молекул газа (или частиц электронного газа) при изменениях параметров среды (давления, температуры). К той же категории взаимодействий относятся и возмущения, вносимые макроскопическими приборами в квантовомеханическое движение микрочастиц.

Что же касается первоисточника стохастического характера движения элементарных частиц, то для его поисков, по-видимому, придется продолжить исследование материи вглубь. Конечно, утверждение о том, что вероятностный характер квантовомеханических явлений зарождается на субквантовом уровне, — это не более чем гипотеза. Однако при всех обстоятельствах останется справедливым следующее утверждение: ***вероятностное поведение микрочастиц обусловлено отсутствием причин, приводящих к жесткой***

детерминации данного вида движения. Открытый на квантовом уровне «изначальный» статистический механизм служит фундаментом, на котором зиждется целая иерархия самых разнообразных стохастических процессов на более «высоких» уровнях сложности материальных систем.

6.4.4. Непредсказуемость стохастических процессов и познаваемость материальных явлений

Признание объективной стохастичности явлений равноценно признанию их принципиальной неопределенности, отсутствия возможности их однозначных предсказаний. В связи с этим некоторые представители различных областей науки высказывают недоумение и тревогу: не означает ли это возрождение агностицизма? Подчас даже высказывается взгляд, что возникающие по неизвестным причинам случайности, которым принадлежит объективная роль в стохастических процессах,— это и есть тот установленный самой природой барьер, заглянуть за который науке принципиально нельзя. На самом же деле статистические теории как раз и созданы для того, чтобы преодолеть этот «барьер».

Проводимые методами теории вероятностей и теории информации исследования статистических свойств объективно стохастических процессов в конечном счете дают возможность осуществлять научные предсказания их хода. Однако предсказания эти, естественно, не однозначны, а даются в вероятностной форме. *Объективная основа таких предсказаний — отмеченная выше устойчивость усредненных во времени статистических характеристик.* В этих характеристиках, собственно, и обнаруживается своеобразный «вероятностный детерминизм».

Весьма знаменателен и тот факт, что аппарат теории вероятностей был в основном разработан значительно раньше, чем была осознана объективная природа вероятностных связей. Это — яркая иллюстрация диалектики самого процесса познания.

Вероятностный способ мышления стал развиваться раньше, чем был осознан и признан объективный вероятностный мир.

После признания объективности случайных процессов и рождения кибернетики стало ясно, что без вероятностных связей не могло бы возникнуть осуществляемое по методу проб и ошибок эвристическое мышление, без которого мир невозможно познать. Оказалось, что не признание, а отрицание вероятностных связей порождает агностицизм.

Вероятностное описание обладающих объективной стохастичностью

материальных процессов не является приближенным, принятым временно «за неимением лучшего». Оно принято потому, что других способов описания подобных процессов попросту нет. И это вовсе не значит, что эти процессы *непознаваемы или познаваемы только частично*. Напротив, их *вероятностная трактовка полностью адекватна их вероятностной природе*, и не о слабости, а о силе науки свидетельствует тот факт, что для таких сложных явлений она сумела разработать и применить адекватный им вероятностный аппарат.

На современном этапе уже нельзя анализировать гносеологические проблемы не привлекая на помощь идей теории информации и опыт создания обрабатывающих информацию технических средств. Ведь именно эти идеи и средства позволяют науке намного расширить рамки познаваемости материального мира, путем статистической обработки огромного количества данных вскрывать такие закономерности, которые в силу их многоплановости и сложности другими методами познать невозможно.

Как было показано выше, для **определения количества информации, сохраняемой тем или иным объектом, необходимо четко разграничивать объективную информацию от информации наблюдений**. При этом следует учитывать, что с методологической точки зрения природа системы, регистрирующей результаты наблюдений, не играет принципиальной роли: это может быть и человек, и автомат, и любой созданный природой объект, который в ходе естественной эволюции приобрел способность что-то фиксировать и запоминать. При этом и сам процесс наблюдений может рассматриваться как своего рода эволюционный процесс, в ходе которого, так же как и во всех рассмотренных нами эволюционных процессах, происходит дифференцировка значений p_i функции

$$\sum_i p_i \log p_i.$$

В самом деле, как было показано выше, в начале наблюдений наблюдатель исходит из условия $p_1 = p_2 = \dots = p_n$. В ходе наблюдений осуществляется «эволюция представлений» наблюдателя об исследуемом объекте, выражающаяся в дифференцировке значений p_i при соответствующем накоплении информации и уменьшении энтропии. В этом аспекте процесс наблюдений можно рассматривать как частный случай взаимодействий, описываемых приведенным выше соотношением:

$$H(X; Y) < H(X) + H(Y),$$

где X — регистрирующая система; Y — объект наблюдений.

Особенность данного случая взаимодействия систем X и Y заключается в том, что в ходе процесса $H(Y)=\text{const}$, так как в противовес приведенным ранее утверждениям Л. Бриллюэна энтропия объекта наблюдения $H(Y)$ не зависит от информации, получаемой при наблюдениях. Следовательно, в данном случае:

$$\Delta H (X; Y) = \Delta H = | \Delta I (X) |.$$

Однако известны и такие случаи (например, в квантовой физике, в биологии), когда в процессе наблюдений условия $H(Y) = \text{const}$ не выполняются, **так как регистрирующее устройство оказывает то или иное воздействие на исследуемый объект.**

Введенный и рассмотренный в предыдущих разделах параметр $H_{\text{п}}$, **характеризующий объективную упорядоченность движения элементов той или иной системы**, в принципе может служить и **мерой определенности этой системы для наблюдателя**. Однако в большинстве случаев полученная информация об упорядоченности наблюдаемой системы (процесса) не является полной, поэтому определенность системы для наблюдателя ($\Delta I_{\text{п}}$), как правило, меньше, чем ее объективная упорядоченность $H_{\text{п}}$. Как было показано ранее, $\Delta I_{\text{п}}$ становится равным $H_{\text{п}}$ в том случае, когда полностью изучена статистическая упорядоченность системы, т. е. получена максимально возможная информация наблюдений $\Delta I_{\text{п max}}$, равная информации, объективно сохраняемой системой I_0 . Согласно приведенному ранее выражению $I_0 = H_{\text{п}}$, следовательно, $\Delta I_{\text{п max}}=H_{\text{п}}$. При этом количество присущей данной системе **принципиально непредсказуемой информации** определяется как

$$H_o = H_{\text{max}} - H_{\text{п}}.$$

Заранее согласимся с тем, что приведенные рассуждения слишком абстрактны, поскольку и без них вполне очевидно, что наблюдатель должен стремиться получить максимальную информацию о структуре исследуемой системы. Вопрос заключается в том, каким образом ее получить. Оказывается, и в этом плане можно сделать некоторые методологические выводы, базирующиеся на опыте разработки и применения предназначенных для обработки информации электронно-вычислительных устройств.

С методологической точки зрения весьма важным шагом была разработка так называемых перцептронов — устройств, предназначенных для опознавания образов. Перцептроны являются некоторой приближенной моделью механизмов обработки зрительной информации в анализаторах животных и человека.

В основе процессов опознавания образов с помощью электронных приборов лежит сравнение заимствованных из теории случайных процессов корреляционных функций, получаемых в результате

сопоставления развертки изображения опознаваемого предмета с хранимым в памяти его «усредненным образом» (который, в свою очередь, является итогом предварительной корреляционной обработки признаков множества опознававшихся однородных объектов). В данном случае принципиальное значение корреляционного метода заключается в том, что с его помощью удастся выделить главные — наиболее характерные, типичные — признаки опознаваемого объекта, исключив признаки второстепенные.

По-видимому, аналогичный механизм лежит и в основе процессов психического восприятия. Именно благодаря статистической обработке поступающей в мозг информации нам удастся установить, что перед нами, скажем, собака, а не теленок, хотя собака эта может быть и овчаркой, и пуделем, и сенбернаром; не будь мозг аппаратом определенной статистической обработки данных, мы принимали бы одну и ту же кошку за три разных объекта, в зависимости от того, бежит ли она, сидит или лежит. Не остается сомнения в том, что определение статистических характеристик (распределения вероятностей, корреляции, математического ожидания и т. п.) есть путь выделения наиболее характерных признаков объектов, создания обобщенной картины действительности. «Отбор существенных переменных не является отказом от точности,— замечает Станислав Лем.—Наоборот, спасая нас от потока несущественной информации, этот отбор позволяет быстрее обнаружить целый класс явлений, подобных данному, то есть создать теорию». Таким образом, статистическая обработка множества переменных лежит в самом фундаменте процесса познания, без нее, наверное, немисливо формирование представлений, понятий, категорий, т. е. всех тех видов обобщений, благодаря которым существует и развивается человеческая мысль.

Необходимость вероятностных связей в процессе познания заключается также в том, что эти связи позволяют на основании прошлого опыта осуществлять приближенное прогнозирование, создавать «опережающие отображения событий», строить «образы цели», т. е. те научные гипотезы, без которых немислим познавательный процесс. Именно прогностической силой статистических методов можно объяснить тот факт, что во всех интегративных направлениях современной науки (таких, например, как теория информации, кибернетика, общая теория систем, семиотика и др.) статистические методы исследований играют фундаментальную роль. Да и могло ли быть иначе: ведь взаимодействие случайных и детерминированных связей лежит в самой основе объективной диалектики материальных процессов, а одним из важнейших инстру-

ментов диалектического метода познания этих процессов (т. е. диалектики субъективной) служит вероятностный аппарат.

Чтобы представить себе, насколько важна для *познания материального мира возможность выделения главных признаков на фоне второстепенных с помощью обобщенных статистических характеристик систем, необходимо учесть еще одно важное свойство процессов развития (самоорганизации), которое можно назвать принципом увеличения разнообразия*. Принцип этот можно сформулировать следующим образом.

С переходом на более высокие структурные уровни число «букв», составляющих полный «алфавит» (т. е. число образующих данный структурный уровень элементов — «кирпичиков», имеющих различные признаки) увеличивается прогрессивно, по закону

$$N_n = N_0^{k^n},$$

где n — порядковый номер рассматриваемого уровня, N_n — число «букв» «алфавита» n -го уровня, k — число элементов («букв»), составляющих одно «слово», N_0 — число элементов, составляющих полный «алфавит» уровня, принятого за начало отсчета ($n = 0$).

Соотношение $N_n = N_0^{k^n}$ отображает принцип увеличения разнообразия признаков, т. е. «прогрессирующий алфавит» систем (следует уточнить, что формула $N_n = N_0^{k^n}$ справедлива при условии, что k не зависит от n , т. е. число элементов «алфавита», составляющих одно полное «слово», на всех уровнях остается неизменным и равным k (каждое «слово» состоит из k букв, каждая «фраза», — из k «слов» и т. д.). Если указанное условие не соблюдается, «прогрессирующий алфавит» выражается несколько иначе:

$$N_1 = N_0^{k_1}, N_2 = N_1^{k_2} = N_0^{k_1 k_2}, \dots, N_n = N_0^{j=1}^n k_j$$

Наглядным примером действия принципа увеличения разнообразия может служить все существующее и непрерывно пополняемое множество самых разнообразных письменных текстов, которые на нулевом уровне сводятся к алфавиту, насчитывающему около 30 букв (имеются в виду алфавиты различных европейских языков).

«Алфавитом» всей природы служат ограниченный набор элементарных частиц и умещающийся в рамки одной менделеевской таблицы набор атомов химических элементов. На основе этих начальных «алфавитов» строится все присущее материальному миру многообразие веществ и систем. С этих позиций понятие «алфавит» следует признать универсальным не в меньшей степени, чем понятия «информация», «код», «сигнал» и т. д.

Очевидно, что увеличение количества различных *признаков* («букв алфавита»), происходящее по мере образования более высоких структурных уровней систем, означает одновременно и *увеличение количества информации*, объективно сохраняемой в структуре этих систем, а следовательно, и увеличение количества информации, получаемой при наблюдении (фиксации) каждого признака из общего числа

$$\sum_{i=1}^n N_i.$$

Для оценки порядка величины информации, соответствующей n -му структурному уровню, будем считать, что все различимые признаки («буквы алфавита») равновероятны. Как было показано ранее, в этом случае формула Шеннона совпадает с формулой Хартли и количество информации вычисляется как $I = \log N$.

Для n -го структурного уровня $I_n = \log N_0^{k^n} = k^n \log N_0 = k^n I_0$, где $I_0 = \log N_0$ есть среднее количество информации, приходящееся на одну букву (признак) на уровне, принятом за начало отсчета; I_n — среднее количество информации, приходящееся на одну букву (признак) на n -м уровне.

Полученное соотношение показывает, что с переходом системы с нулевого на n -й структурный уровень количество сохраняемой в ней информации возрастает в k^n раз (нетрудно заметить, что в случае $k \neq \text{const}$ (т. е. когда средние числа «букв» в «слове» на разных уровнях не равны)

$$I_n = \left(\prod_{j=1}^n k_j \right) I_0.$$

Данное выражение показывает, что с переходом с нулевого уровня на n -й уровень информация вырастает в $\prod_j k_j$ раз, с переходом с уровня ($j - 1$) на уровень j — в k_j раз).

Именно в этом смысле следует понимать утверждение о том, что **информация является мерой многообразия.**

Наименьшим многообразием обладает альтернативный выбор, которому соответствует двоичный код ($N_0 = 2$). На следующем структурном уровне из различных комбинаций k знаков двоичного кода может быть построен алфавит из N_1 букв, причем число $N_1 = N_0^k = 2^k$ при больших k может быть сколь угодно велико. Таким образом, именно принципом увеличения многообразия обусловлена неограниченная универсальность двоичного кода и «сводимость» к этому

простейшему коду всех существующих в мире алфавитов, систем счисления и других способов кодирования информации.

Пределом специализации также является сведение всякой проблемы, задачи управления, самоорганизации, адаптации к альтернативному выбору (например, нажатию одной кнопки после выбора предварительного решения «нажать — не нажать»). Именно поэтому пределом специализации письменного текста оказался двоичный код типа «пауза — А». Простейший двоичный код лежит в основе многих явлений природы (два вида электрических зарядов, два полюса магнитных полей, мембранные эффекты в физиологических процессах, четность и симметрия состояний квантово-механических систем и др.).

Принцип увеличения многообразия диалектически совмещает в себе два противоположных качества материальных процессов: с одной стороны, сводимость самых сложных информационных процессов к простейшим кодам, а с другой — неограниченные возможности усложнения эволюционирующих систем путем перехода на более высокие структурные уровни развития.

Попытаемся оценить некоторые количественные соотношения, характеризующие действие принципа увеличения многообразия, на примере словесного текста. Если принять, что средняя длина слова примерно 6 букв, то количество таких слов, образованных из обычного (точнее, телеграфного) 32-буквенного алфавита, имеет величину порядка $N_1 = 32^6 \cong 10^9$ ($N_0 = 32$; $n = 1$; $k = 6$). Число «осмысленных» слов составляет около 0,0001 % от общего количества буквенных комбинаций, т. е. равно приблизительно $N_1' = 10^5$. Переходя на следующий структурный уровень — на уровень фраз — и принимая по-прежнему $k = 6$ (т. е. считая, что каждая фраза содержит в среднем 6 слов), получаем $N_2 = 10^{30}$. Если учесть, что количество электронов в составе всего земного шара выражается числом порядка 10^{40} , то становится очевидным, что количество фраз, составленных с помощью 32-буквенного алфавита, практически не имеет границ. Правда, подавляющее большинство этих фраз пришлось бы отбраковать по причине отсутствия смысла или несоблюдения грамматических правил, однако и оставшихся оказывается вполне достаточно для выражения огромного многообразия человеческих мыслей.

Если представить себе, что перед нами не письменный текст, а некая материальная система, имеющая такое же число различных признаков, как язык (т. е. десятки «букв» на нулевом уровне, 10^9 «слов» на первом уровне и т. д.), не трудно прийти к заключению, что благодаря принципу увеличения многообразия окружающий мир дает нам такое невообразимо громадное многообразие частных признаков, свойств и качеств, что без умения разделять эти признаки на категории, абстрагироваться от

несущественных (для данного аспекта) признаков, сопоставлять и обобщать наиболее важные признаки наш разум обречен был бы захлебнуться в этом нескончаемом потоке многообразия.

Принципиальной основой обобщений служит статистический вероятностный анализ, позволяющий выявлять и сравнивать не частные признаки, а усредненные по множеству признаков статистические характеристики. Эту роль вероятностного подхода к явлениям подчеркивал Ф. Энгельс: «До тех пор, пока мы не можем показать, от чего зависит число горошин в стручке, оно остается случайным; а оттого, что нам скажут, что этот факт предусмотрен уже в первоначальном устройстве солнечной системы, мы ни на шаг не подвинемся дальше. Более того: такая наука, которая взялась бы проследить случай с этим отдельным стручком в его каузальном сцеплении со все более отдаленными причинами, была бы уже не наукой, а простой игрой; ибо этот самый стручок имеет еще бесчисленные другие индивидуальные свойства, являющиеся случайными: оттенком цвета, толщину и твердость оболочки, величину горошин, не говоря уже об индивидуальных особенностях, доступных только микроскопу. Таким образом, с одним этим стручком нам пришлось бы проследить уже больше каузальных связей, чем сколько их могли бы изучить все ботаники на свете». Однако даже статистические методы порой оказываются бессильными перед тем нескончаемым многообразием, которое порождает рассмотренный выше принцип. Чтобы убедиться в этом, вернемся еще раз к примеру письменного текста и рассмотрим возможность его анализа с помощью функции $\sum_i p_i \log p_i$. Путем статистической обработки множества текстов определяются реальные величины вероятностей букв (p_A, p_B, p_V и т. д.). Поскольку русский алфавит содержит около 30 букв, можно (даже не подвергая тексты статистическому анализу) определить априорно порядок величин вероятностей: примерно $1/30$, т. е. около 0,03. В действительности вероятности эти колеблются от максимального значения $p_{\llcorner} = 0,11$ до минимального значения $p_{\llcorner} = 0,002$. Подставив реальные значения p_i в формулу $\sum_i p_i \log p_i$ (где $i = A, B, \dots, Я$), получим реальную энтропию словесного текста.

Предположим теперь, что мы хотим повторить этот анализ на следующем структурном уровне — на уровне слов. Как было отмечено выше, число одних лишь осмысленных слов составляет величину порядка $N_j' = 10^5$. Значит, вероятность появления одного какого-то слова (согласно нашей терминологии слово теперь становится «буквой» присущего данному уровню «алфавита») выражается величиной порядка $p_i \cong 10^{-5}$.

Чтобы установить реальную вероятность какого-то слова, пришлось бы статистически обрабатывать тексты, состоящие из миллионов слов. Начиная с уровня $n = 1$ порядок величин вероятностей, определяемый как $p_i \cong 1/N_0^{k_i^n}$ (или, в более общем случае, как $p_i \cong \frac{1}{N_0^{\prod_{j=1}^n k_j}}$), с

переходом на каждый следующий уровень уменьшается столь стремительно, что операции с этими величинами теряют какой бы то ни было практический смысл. А раз неизвестны p_i , значит, нельзя привлечь для количественного анализа функцию $\sum_i p_i \log p_i$. Этим в первую очередь определяется трудность подсчета количества информации, сохраняемой в структуре сложных многофункциональных систем.

Один из возможных путей преодоления этой трудности заключается в следующем. Влияние связей на высоком структурном уровне (например, связей между словами) учитывается как взаимная корреляция элементов более низкого уровня (в данном примере — как взаимная корреляция букв). Затем на нижнем уровне (на уровне букв)

используется функция $\sum_i p_i \log p_i$, причем количество информации определяется с учетом обусловленной корреляцией взаимной зависимости условных вероятностей p_i . К сожалению, далеко не для всякой реальной системы удастся учесть все корреляции, а затем перевести их в биты. Несомненно, что отмеченные методологические трудности надо расценивать лишь как болезни роста, которые наука сумеет со временем так или иначе преодолеть. Что касается перспектив развития статистических и информационных методов, то здесь можно с полной уверенностью утверждать, что в процессе познания материального мира их роль будет и впредь возрастать неизменно по мере того, как научное и общечеловеческое мышление будет подниматься на все более высокие уровни обобщений. Этот вывод является одним из следствий принципа увеличения многообразия, согласно которому многообразию признаков, а следовательно, и потребности привлечения вероятностных корреляционных методов, позволяющих выделить главные признаки на фоне второстепенных, — непрерывно растут в соответствии с формулой $N_n = N_0^{k^n}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главный вывод, который может быть сделан на основе многих обсуждавшихся в этой работе положений и фактов, можно кратко

сформулировать следующим образом:

в решении извечного спора о соотношении случайных и жестко детерминированных связей в природе момент привлечения теории информации в известном смысле является ключевым.

Для решения спора недостаточно было не только понятий о случайных и необходимых событиях, но и их количественных оценок с помощью «обычного» вероятностного аппарата. Для этого требуется более ***сложная интегральная количественная мера.***

До рождения теории информации статистическая формула энтропии использовалась очень односторонне, в связи со Вторым началом термодинамики. Было показано, что состояние термодинамического равновесия, к которому стремятся все предоставленные самим себе («закрытые») физические системы, есть не что иное, как равенство вероятностей всех событий (p_i), которому соответствует максимальная энтропия. Заслуга создателей теории информации, и в первую очередь К. Шеннона, заключается в том, что функция $\sum_i p_i \log p_i$ начала применяться для оценки систем, вовсе не стремящихся к термодинамическому равновесию, а, напротив, благополучно пребывающих в состоянии не с равными, а с дифференцированными значениями p_i . Именно ***степень отличия от состояния равномерного распределения вероятностей и оценивается количеством информации, сохраняемой (а следовательно, существующей объективно) в структуре сложно организованных систем.***

В работе было показано, что с помощью количественной меры информации можно производить оценки структурных характеристик в состоянии статистического равновесия (гомеостазиса) заранее сформировавшихся сложных систем. Более важно, однако что функцию $\sum_i p_i \log p_i$ можно использовать для анализа эволюционной динамики развивающихся систем. Выводы, полученные в результате такого подхода, оказываются общими в той же мере, в какой понятие информации применимо ко всем видам эволюционирующих систем. А функция $\sum_i p_i \log p_i$ становится именно той формулой, с помощью которой «демон Лапласа» может объять прошедшие, настоящие и будущие состояния мира, с той лишь существенной оговоркой, что перед умственным взором предстает не запрограммированный метафизический, а ***непредсказуемо изменяющийся диалектический мир.***

Вывод о том, что функция $\sum_i p_i \log p_i$ может служить обобщенной

математической моделью всех протекающих в мире эволюционных процессов, является результатом большого пути развития теоретико-информационных, кибернетических и теоретико-познавательных идей. С помощью этой функции Л. Больцман и К. Шеннон решали, казалось бы, совершенно различные по своей сути задачи. Но по мере осознания **связи информации и энтропии** становилось все более очевидным, что на самом деле и Л. Больцман и К. Шеннон **исследовали единые закономерности энтропийно-информационных процессов**, хотя и подходили к ним с противоположных сторон. Оказалось, что **трансформация функции $\sum_i p_i \log p_i$ при переходе от рассматривавшегося Л.**

Больцманом состояния термодинамического равновесия к изучавшимся К. Шенноном и его последователями информационным системам — это и есть описанный лаконичным языком математики обобщенный эволюционный процесс. Осознание этого факта позволяет использовать функцию $\sum_i p_i \log p_i$ подобно любой другой

математической модели: в чисто математическом аспекте исследовать ее абстрактные свойства, а полученные таким образом выводы интерпретировать применительно к эволюционным процессам различных конкретных систем.

Подчеркнем еще раз, что анализ эволюционных процессов с помощью функции $\sum_i p_i \log p_i$ позволил обнаружить тенденцию

перераспределения вероятностей p_i , приводящего к **постепенному переходу от предельно стохастического состояния системы (при котором все p_i равны друг другу) к детерминированному состоянию с максимально дифференцированными значениями p_i .** При таком рассмотрении соотношения случайных и детерминированных связей выявляется диалектическое единство противоположностей этих связей, которые становится возможным рассматривать не как мертвые и застывшие, а как «живые, условные, подвижные, превращающиеся одна в другую». Такой подход может быть с полным правом противопоставлен метафизическому взгляду с присущим ему стремлением противопоставления необходимых и случайных явлений.

Как было показано, метафизический метод тоже эволюционировал. Если раньше противопоставление детерминации и случайности имело характер категоричный, то современные «метафизики» допускают тут некоторый компромисс. Категоричность прежних метафизических воззрений выражалась в стремлении доказать, что случайные и необходимые связи не имеют права сосуществовать. Иную метафизическую концепцию обнаруживаем мы в трудах некоторых

современных ученых. Казалось бы, отдана дань и роли связей случайных, и роли связей детерминированных, но... воспитанная веками метафизическая традиция все-таки не позволяет допустить совмещение в одном процессе двух противоположных начал. Отсюда и вытекают некоторые неубедительные выводы, анализ которых дан в настоящей работе. Можно надеяться, что проведенный в этой книге анализ общих свойств эволюционных процессов, базирующийся на идеях, методах и результатах теории информации, послужит достаточно веским опровержением высказанной Уоддингтоном пессимистической точки зрения на эффективность информационного подхода к решению биологических проблем. Одна из основных задач книги как раз и заключалась в обосновании мысли о том, что внедрение методов теории информации в биологию — это не простая перефразировка старых идей, а новый образ мышления (его можно назвать «информационным мышлением»), который, несмотря на ряд методологических трудностей, сумел принести немало плодов.

Есть основания утверждать, что с рождением теории информации завершился очередной виток спирали в развитии вероятностного подхода к миру, начало которому положили в свое время Людвиг Больцман и Джеймс Максвелл. На предыдущем витке аналогичную роль сыграли Гераклит, Эмпедокл, Аристотель и Эпикур. Трансформация научного мировоззрения от детерминистического фатализма Демокрита до диалектической трактовки взаимосвязи случайного и необходимого у Эпикура аналогична переходу от лапласовского детерминизма к современной вероятностной трактовке объективных явлений. Установление единой меры количества информации, пригодной для оценки упорядоченности движения, существующего в материальных системах всех степеней сложности, служит еще одним подтверждением позиции материалистического монизма. Единый информационный подход к анализу процессов диалектического развития показывает, что способность к **самодвижению** (или — **в кибернетической терминологии — самоорганизации**) **в той или иной степени присуща всем материальным системам начиная с объектов неорганической природы и кончая самыми сложными процессами, связанными с жизнью людей.**

Интерпретация информации как единой статистической меры упорядоченности движения оказывается настолько общей, что включает в себя как частный случай и понимание информации, заимствованное из обихода. Именно такой вид информации определяет упорядоченность движений, происходящих в социальной, экономической и научной областях. Проведенный анализ взаимодействия случайных и детерминированных связей в эволюционных процессах позволяет

конкретизировать некоторые общие положения диалектики. Представим это в виде таблицы:

Принципы диалектики	Их конкретизация в терминах теории информации и теории случайных процессов
Развитие как движение простого к сложному по восходящей линии	Развитие как процесс прогрессивного накопления информации, определяемой условиями: $\frac{\partial^2 I}{\partial N^2} > 0; \quad \frac{\partial^2 I}{\partial M^2} > 0$
Развитие как результат борьбы противоположностей	Развитие как результат «борьбы» между стремлением системы к эволюционной гибкости и к сохранению целостности, выраженной в форме противоречия между увеличением детерминированных связей и сохранением связей случайных
Единство противоположностей в процессах развития	Стремление к оптимальному соотношению случайных и детерминированных связей
Переходы количества в качество (качественные скачки)	Накопление определенного количества информации и последующие переходы на более высокие структурные уровни развития.
Развитие как движение по спирали с повторением на каждом более высоком витке основных этапов предыдущего витка	Продолжение развития системы на более высоком, структурном уровне с сохранением тенденции накопления информации, детерминации и уменьшения $G = H_0 / H_n$

Рождение теории информации и системно-информационного подхода к изучению сложных материальных объектов — это важный шаг в методологии научного исследования. Но не следует преувеличивать достигнутые в этом плане успехи. Дело в том, что сам структурно-информационный подход к исследованию сложных объектов приносит не только новые знания, он раскрывает также и то, насколько поддающиеся математической формализации упрощенные модели еще далеки от реальной сложности порождаемых природой систем. Тем более возрастает роль методологических обобщений. Опыт одного из таких обобщений и является темой данной книги. На его основе делается попытка анализа общих закономерностей процессов эволюции, адаптации и самоорганизации развивающихся систем.

Литература

1. В.Ф.Асмус. Проблема интуиции в философии и математике. «Мысль», М.1965.
2. Дж. Барвайс. Введение в логику первого порядка. Справочная книга по математической логике. Ч.1. «Наука», М.1982. Пер. с англ.: Handbook of mathematical logic. J. Barwise (Ed). North-Holland P.C. 1977.
3. Дж.Булос, Р.Джеффри. Вычислимость и логика. М. «Мир» 1994. Пер. с английского: George S. Boolos, Richard C. Jeffrey. Computability and logic. Cambridge University press, 1989.
4. Е.А.Беляев, В.Я.Перминов. Философские и методологические проблемы математики. Изд-во Московского университета, 1981.
5. М.Бунге. Интуиция и наука. «Прогресс», М. 1967. Пер. с английского: M.Bunge. Intuition and Science. New York, 1962.
6. Н.Бурбаки. Начала математики. Ч.1, кн.1. Теория множеств. Мир. М. 1965. Пер. с французского.: Elements de Mathematique par N.Bourbaki. Livre 1. Theorie des ensembles. Troisieme edition, 1958.
7. Е.Вигнер. Непостижимая эффективность математики в естественных науках. УФН, т.94, вып.3, 1968, 535 – 546. Пер. с англ.: E.Wigner. The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences, Comm. Pure and Appl. Math. 131, 1 (1960).
8. Р.Декарт. Правила для руководства ума. Избранные произведения. М.1950. Пер. с французского: Descartes R. Oeuvres, t. X. Paris, 1908.
9. М.Клайн. Математика. Утрата определённости. М. «Мир», 1984. Пер. с англ.: Morris Kline. MATHEMATICS. The Loss of Certainty. N-Y, Oxford University Press, 1980.
10. С.К.Клини. Введение в метаматематику. ИЛ М. 1957. Пер.с англ. : Introduction tu metamathematics by Stephen Cole Kleene. 1952. D.van

Nostrand Company, inc. New York , Toronto.

11. М.Кац, С.Улам. Математика и логика. Ретроспектива и перспективы. «Мир», М. 1971. Пер. с англ.: Mathematics and Logic. Retrospect and Prospects. Mark Кас and Stanislaw M. Ulam. N.-Y. Washington. London. 1968.

12. А.Е. Кононюк. Общая теория познания и созидания. Кн.1. Киев:

«Освіта України», 2013. 648 с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html

13. А.Е. Кононюк. Общая теория познания и созидания. Кн.2, ч.1. Киев:

«Освіта України», 2013. 544 с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html

14. А.Е. Кононюк. Общая теория познания и созидания. Кн.2, ч.2. Киев:

«Освіта України», 2013. 644 с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html

15. А.Е. Кононюк. Информациология. Общая теория информации. Кн.1. Киев: «Освіта України», 2011. 476 с.

ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html

16. А.Е. Кононюк. Информациология. Общая теория информации. Кн.2. Киев: «Освіта України», 2011. 476 с.

ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html

17. А.Е. Кононюк. Информациология. Общая теория информации. Кн.3. Киев: «Освіта України», 2011. 412 с.

ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html

18. А.Е. Кононюк. Информациология. Общая теория информации. Кн.4. Киев: «Освіта України», 2011. 488 с.

ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html

19. А.Е. Кононюк. Общая теория понятий. Кн.1. Киев: «Освіта України», 2014. 514с.

20. А.Е. Кононюк. Общая теория понятий. Кн.2. Киев: «Освіта України», 2014. 544с.

21. А.Е. Кононюк. Общая теория понятий. Кн.3. Киев: «Освіта України», 2014. 614с.

22. А.Е. Кононюк. Системология. Общая теория систем. Кн.1. Киев:

«Освіта України», 2012. 564с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html

23. А.Е. Кононюк. Системология. Общая теория систем. Кн.2. Ч.1. Киев:

«Освіта України», 2014. 558с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html

24. А.Е. Кононюк. Системология. Общая теория систем. Кн.2. Ч.2. Киев: «Освіта України», 2014. 658с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
25. А.Е. Кононюк. Системология. Общая теория систем. Кн.2. Ч.1. Киев: «Освіта України», 2014. 558с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
26. А.Е. Кононюк. Общая теория распознавания. Кн.1. Киев: «Освіта України», 2012. 584 с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
27. А.Е. Кононюк. Общая теория распознавания. Кн.2. Киев: «Освіта України», 2012. 588 с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
28. А.Е. Кононюк. Консалтология. Общая теория консалтинга. Кн.1. Киев: «Освіта України», 2013. 448 с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
29. А.Е. Кононюк. Консалтология. Общая теория консалтинга. Кн.2. Киев: «Освіта України», 2013. 412 с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
30. А.Е. Кононюк. Консалтология. Общая теория консалтинга. Кн.3. Киев: «Освіта України», 2013. 520 с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
31. А.Е. Кононюк. Консалтология. Общая теория консалтинга. Кн.4. Киев: «Освіта України», 2013. 508 с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
32. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Начала. Кн.1. Киев: «Освіта України», 2012. 652с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
33. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Множества. Кн.2. Ч.1. Киев: «Освіта України», 2012. 452с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
34. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Множества. Кн.2. Ч.2. Киев: «Освіта України», 2013. 536 с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
35. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Отношения. Кн.3. Ч. 1. Киев: «Освіта України», 2013. 552с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
36. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Отношения. Кн.3. Ч. 2. Киев: «Освіта України», 2013. 548 с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
37. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Алгебры. Кн.4. Ч.1. Киев: «Освіта України», 2011. 452с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
38. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Алгебры. Кн.4.

- Ч.2. Киев: «Освіта України», 2011. 668 с.
ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
39. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Алгебры. Кн.4.
Ч.3. Киев: «Освіта України», 2015. 488 с.
40. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Алгебры. Кн.4.
Ч.4. Киев: «Освіта України», 2015. 548 с.
41. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Алгебры. Кн.4.
Ч.5. Киев: «Освіта України», 2015. 528 с.
42. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Алгебры. Кн.4.
Ч.6. Киев: «Освіта України», 2015. 608 с.
43. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Матрицы. Кн.5.
Ч.1. Киев: «Освіта України», 2013. 612 с.
ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
44. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Матрицы. Кн.5.
Ч.2. Киев: «Освіта України», 2013. 500 с.
ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
45. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Матрицы. Кн.5.
Ч.3. Киев: «Освіта України», 2013. 520 с.
ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
46. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Матрицы. Кн.5.
Ч.4. Киев: «Освіта України», 2013. 508 с.
ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
47. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Матрицы. Кн.5.
Ч.5. Киев: «Освіта України», 2013. 672 с.
ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
48. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Поверхности.
Кн.6. Ч.1. Киев: «Освіта України», 2012. 652с.
ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
49. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Графы. Кн.7. Ч.1
Киев: «Освіта України», 2014. 652с.
ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
50. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Графы. Кн.7. Ч.2

Киев: «Освіта України», 2014. 552с.

ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html

51. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Графы. Кн.7. Ч.3

Киев: «Освіта України», 2015. 512с.

ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html

52. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Графы. Кн.7. Ч.4

Киев: «Освіта України», 2015. 552с.

ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html

53. А.Е. Кононюк. Дискретно-непрерывная математика. Графы. Кн.7.

Ч.5 Киев: «Освіта України», 2015. 660с.

54. А.Е. Кононюк. Обобщенная теория моделирования. Кн.1. Ч.1 Киев:

«Освіта України», 2012. 602с. *ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html*

55. А.Е. Кононюк. Обобщенная теория моделирования. Кн.1. Ч.2 Киев:

«Освіта України», 2012. 708с. *ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html*

56. А.Е. Кононюк. Обобщенная теория моделирования. Кн.1. Ч.3 Киев:

«Освіта України», 2012. 568с. *ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html*

57. А.Е. Кононюк. Обобщенная теория моделирования. Кн.2. Киев:

«Освіта України», 2012. 548с. *ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html*

58. А.Е. Кононюк. Обобщенная теория моделирования. Кн.3. Ч.1 Киев:

«Освіта України», 2012. 636с. *ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html*

59. А.Е. Кононюк. Обобщенная теория моделирования. Кн.3. Ч.2 Киев:

«Освіта України», 2012. 448с. *ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html*

60. А.Е. Кононюк. Обобщенная теория моделирования. Кн.3. Ч.3 Киев:

«Освіта України», 2013. 588с. *ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html*

61. А.Е. Кононюк. Основы теории оптимизации. Кн.1. Киев: «Освіта

України», 2011. 602с. *ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html*

62. А.Е. Кононюк. Основы теории оптимизации. Кн.2. Ч.1. Киев: «Освіта

України», 2011. 552с. *ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html*

63. А.Е. Кононюк. Основы теории оптимизации. Кн.2. Ч.2. Киев: «Освіта

України», 2011. 616с. *ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html*

64. А.Е. Кононюк. Основы теории оптимизации. Кн.2. Ч.3. Киев: «Освіта

України», 2012. 456с. *ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html*

65. А.Е. Кононюк. Основы теории оптимизации. Кн.2. Ч.4. Киев: «Освіта

України», 2012. 512с. *ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html*

66. А.Е. Кононюк. Основы научных исследований. Кн.1. Киев: «Освіта

України», 2011. 508с. *ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html*

67. А.Е. Кононюк. Основы научных исследований. Кн.2. Киев: «Освіта України», 2011. 452с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
68. А.Е. Кононюк. Основы научных исследований. Кн.3. Киев: «Освіта України», 2011. 456с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
69. А.Е. Кононюк. Основы научных исследований. Кн.4. Киев: «Освіта України», 2011. 456с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
70. А.Е. Кононюк. Общая теория коммуникаций. Кн.1. Киев: «Освіта України», 2014. 488с.
71. А.Е. Кононюк. Нейроні мережі і генетичні алгоритми. Киев: «Корнійчук», 2010. 448с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
72. Кононюк А. Е. Обобщенная теория познания и созидания. [В 2 кн.] Кн. 1 : Начала / А. Е. Кононюк. — Киев : Освіта України, 2013. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
73. Кононюк А. Е. Обобщенная теория познания и созидания. [В 2 кн.] Кн. 2 : Теория познания. Ч. 1 / А. Е. Кононюк. — Киев : Освіта України, 2013 ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
74. Кононюк А. Ю. Вища математика. (Модульна технологія навчання) : навчальний посібник : в 2 кн. / А. Ю. Кононюк. — Київ : КНТ, 2009 — Кн. 1. — 2009. — 702 с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
75. Кононюк А. Ю. Вища математика. (Модульна технологія навчання) : навчальний посібник : в 2 кн. / А. Ю. Кононюк. — Київ : КНТ, 2009 Кн. 2. — 2009. — 790 с. ecat.diit.edu.ua:81/ft/index_ru.html
76. Кононюк А. Е. Истины и информация. [В 16 кн.] Кн. 1. — Киев : Освіта України, 2016

—