

Парадигма развития науки

А. Е. Кононюк

**Основы фундаментальной
теории искусственного
интеллекта**

Книга 8

**Искусственный интеллект как
решатель интеллектуальных
задач**

**Киев
«Освіта України»
2018**



Кононюк Анатолий Ефимович



Концептуальная схема парадигмы развития науки



УДК 51 (075.8)

ББК В161.я7

К65

Рецензент:

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

Кононюк А. Е.

К213 Основы фундаментальной теория искусственного интеллекта. — В 20-и кн. Кн.8. — К.:Освіта України. 2018.— 394 с.

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

ISBN 978-966-373-694-18 (книга 8)

Многотомная работа посвящена систематическому изложению общих формализмов, математических моделей и алгоритмических методов, которые могут быть используемых при моделировании и исследованиях математических моделей объектов искусственного интеллекта.

Развиваются представления и методы решения, основанные на теориях эвристического поиска и автоматическом доказательстве теорем, а также процедуральные методы, базирующиеся на классе проблемно-ориентированных языков, сочетающих свойства языков программирования и автоматических решателей задач отображения искусственного интеллекта различными математическими средствами.

В работе излагаются основы теории отображения искусственного интеллекта такими математическими средствами как: множества, отношения, поверхности, пространства, алгебраические системы, матрицы, графы, математическая логика и др.

Для бакалавров, специалистов, магистров, аспирантов, докторантов всех специальностей.

УДК 51 (075.8)

ББК В161.я7

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

ISBN 978-966-373-694-18 (книга 8)

© Кононюк А. Е., 2018

© Освіта України, 2018

Оглавление

1. Задачный подход в теории искусственного интеллекта.....	8
1.1. Исходные понятия теории задач.....	14
1.1.1. Предметы и системы.....	14
1.1.2. Описания, планы и задачи.....	17
1.1.3. Модели. Информация.....	22
1.1.4. Знаки и знаковые модели.....	25
1.1.5. Воздействия и операции.....	27
1.1.6. Процедуры. Алгоритмы и квазиалгоритмы.....	32
1.2. ТИПЫ И ПРИЗНАКИ ЗАДАЧ.....	34
1.2.1. Некоторые типы задач.....	34
1.2.2. Признаки как ограничения задач.....	45
1.2.3. Плохо определенные задачи.....	51
1.2.4. Источники новых проблем при решении задач.....	58
1.2.5. Абстракция.....	62
1.2.6. Оценка возможных решений как источник постановки новых задач.....	63
1.2.7. Решение творческих задач на примере создания фуги.....	67
1.3. ЗАДАЧИ И ДЕЙСТВИЯ ПО ИХ РЕШЕНИЮ.....	81
1.3.1. Задача как система особого рода.....	82
1.3.2. Решение задачи. Решатель. Средства решения задач.....	85
1.3.3. Способы и процессы решения задач.....	87
1.3.4. Отношения между задачами. Информация, относящаяся к решению задачи.....	89
1.3.5. Целенаправленные действия. Соотношение действий и задач.....	91
1.4. Основные типы задач.....	98
1.4.1. Типы задач, устанавливаемые безотносительно к свойствам решателя.....	98
1.4.2. Задачи, неразрешимые и разрешимые для определенного решателя. Рутинные, квазирутинные и нерутинные задачи.....	101
1.4.3. Четкие, квазичеткие и нечеткие задачи.....	102
1.4.4. Внешние и внутренние задачи.....	111
1.4.5. Теоретические и практические задачи.....	115
1.5. Познавательные задачи.....	117
1.5.1. Структура познавательной задачи.....	117
1.5.2. Пути решения познавательных задач.....	123
1.5.3. Коммуникативные задачи и их соотношение с познавательными.....	129
1.5.4. Вопросы и ответы. Закрытые и открытые задачи.....	130
1.5.5. Трехкомпонентные познавательные задачи.....	133
1.5.6. Эвристические средства.....	138

1.5.7. Типы задач поискового конструирования.....	142
1.5.8. Решение задач и творчество.....	150
1.6. Оценка трудности и сложности задачи	158
1.6.1. Уровень трудности задачи. Уровень нерутинности задачи.....	159
1.6.2. Уровень сложности задачи	163
1.6.3. Алгоритмический подход к оценке сложности задач.....	165
1.6.4. Энтропийный подход к оценке сложности задач.....	170
1.6.5. Соотношения между различными количественными характеристиками задач.....	174
1.6.6. О возможностях использования качественных и количественных характеристик задач для оценки учебных достижений и умственного развития учащихся.....	178
1. 7. Задачи в процессе обучения	180
1.7.1. Основные типы задач, различающиеся по функциям в учебно-воспитательном процессе.....	180
1.7.2. Особенности учебных задач.....	188
1.7.3. Учебный материал и его заданная структура.....	196
1.7.4. Задачный подход к построению процесса обучения.....	198
2. Задачи познания и искусственный интеллект.....	205
2.1. Цели создания объектов искусственного интеллекта.....	205
2.2. Реализация «задачного» подхода в теории искусственного интеллекта.....	210
2.2.1. Введение в «задачный» подход.....	210
2.2.2. Базовые понятия: объект, отношение, система, изменение, операция, модель.....	213
2.2.3. Процедуры и алгоритмы.....	215
2.2.4. Обобщенная модель задачи и решающей системы.....	218
2.2.5. Типы задач.....	224
2.2.6. Язык описания формулировок задач, знаний решающих систем и базовых сообщений в процедурах их взаимодействия.....	231
2.2.7. Основные операторы решающей системы.....	238
2.2.8. Количественные характеристики задач и процессов их решения.....	247
2.3. К постановке общей задачи распознавания объектов искусственным интеллектом.....	248
2.3.1. Неформальная постановка задачи распознавания.....	248
2.3.2. Формальная постановка задачи распознавания.....	253
2.3.3. Геометрическая интерпретация задачи распознавания объектов.....	265
2.3.4. Решение задач распознавания.....	268
2.3.5. Архитектура решения задач распознавания.....	273
2.3.6. Задачи обучения в теории распознавания.....	278

2.3.7. Формальная постановка задачи обучения распознавателя.....	284
2.4. Модели знаний.....	290
2.5. Особенности решения задач двумя решающими системами.....	302
2.5.1. Основные виды взаимодействия между решающими системами.....	302
2.5.2. Взаимопонимание партнеров при решении задачи.....	307
2.5.3. Учение и обучение как процедуры решения задач.....	309
2.5.4. Передача задачи партнеру.....	315
2.5.5. Совместное решение задачи.....	318
2.5.6. Диалоговое взаимодействие человека и ЭВМ.....	319
2.5.7. Конфликты между партнерами при диалоговом взаимодействии.....	320
3. Обобщенный решатель задач распознавания: архитектура, применение, развитие.....	322
3.1. Эпистемологическая иерархия систем распознавания.....	322
3.2. Методологические отличия.....	325
3.3. Условия задачи распознавания.....	327
3.4. Задачи распознавания.....	328
3.5. Концептуальная схема ОРЗР.....	333
3.6. Анализ архитектуры ОРЗР.....	337
3.7. Примеры использования ОРЗР.....	342
3.8. Развитие ОРЗР.....	371
Приложение.....	376
Литература.....	386

1. Задачный подход в теории искусственного интеллекта

Важная роль задач в искусственном интеллекте признается многими. Однако как объект особого рода они проанализированы недостаточно. Между тем разработка научно обоснованных требований к задачам и их наборам необходима для реализации положений, предусматривающих совершенствование искусственного интеллекта, обеспечение более высокого научного уровня изучения каждого предмета при одновременном устранении чрезмерной усложненности познаваемого материала. Выполнению этих положений должно помочь тщательное исследование интеллектуальных задач, выяснение их общих свойств и построение их типологии, разработка методов оценки их сложности и трудности, принципов построения наборов задач, в том числе таких, решение которых требует высокой степени интеллектуального творчества.

Все вопросы, актуальность которых отмечена выше, в той или иной форме затрагиваются в настоящей работе, а некоторые из них служат предметом детального изучения. При этом, однако, мы сочли целесообразным выйти за рамки традиционного понимания задач, когда последние рассматриваются в качестве специфического (хотя и важного) вида учебных заданий. В работе освещается одно из новых направлений фундаментальных и прикладных исследований в области теории искусственного интеллекта – **так называемый задачный подход к исследованию и построению деятельности искусственного интеллекта**. Основная его идея заключается в том, что всю **деятельность (функционирование) искусственного интеллекта целесообразно описывать и проектировать как систему процессов решения разнообразных интеллектуальных задач**. Результативность функционирования искусственного интеллекта в конечном счете определяется тем, какие именно задачи, в какой последовательности и какими способами они решаются. Поэтому излагаемая в работе система качественных и количественных характеристик, описывающих задачи (тракуемые в указанном широком смысле), а также средства и способы их решения, может облегчить построение эффективного процесса решения (конечно, при условии углубленной проработки этих вопросов в плане соответствующих частных методик).

Охарактеризуем несколько обстоятельнее в историческом и содержательном плане те предпосылки, из которых мы будем исходить в исследовании, нашедшем отображение в настоящей работе.

Как это ни странно, но, хотя изучение проблемы решения задач проводится уже многие годы, до сих пор еще практически нет общепринятого определения самого понятия «задачи». Это в значительной степени связано с тем, что исследованиям поведения при решении задач уделялось гораздо больше внимания, чем самим решаемым задачам. Кроме того, объяснение этому в какой-то мере следует искать и в разнообразии ситуаций, по отношению к которым мы применяем термин «задача». Так, мы рассматриваем в качестве задачи поиск информации («теперь моя задача состоит в том, чтобы найти эту ссылку»). Мы относим сюда также формальные задачи оперирования с символами в чистой и прикладной математике и логике. Мы даже используем этот термин в самом общем и плохо определенном смысле, когда говорим, например, о задаче, которую ставит перед собой художник, когда пишет картину.

Здесь мы имеем дело с чем-то более глубоким, чем неточность или неопределенность повседневно применяемого языка. В теоретическом обсуждении решение задач совершенно различного вида рассматривается как одна широкая поведенческая проблема. Общий подход к решению задач мы находим в работах по факторному анализу. В этом направлении широчайшая область частных задач используется в попытках отыскать лежащие в их основе факторы. Другими словами, хотя частные задачи могут различаться по постановке и хотя сами факторы, характеризующие задачу, могут быть весьма многочисленны и различны, сам процесс анализа образует единую многомерную область. Наконец, достаточно пронаблюдать за тем, как легко люди переходят от решения одного вида задач к другим, чтобы оценить общность процессов решения задач человеком в чрезвычайно широкой области задач.

Подобные ссылки едва ли что-либо доказывают. Но если косвенные данные и наши собственные профессиональные допущения указывают на широкую обобщенную структуру поведения при решении задач, то имеет смысл задать вопрос: какие общие черты характеризуют область задач в целом? Тот, кто занимается факторным анализом, отвечает на этот вопрос, пытаясь очертить границы предполагаемой общей области. Теоретики же информационных процессов подходят к этому, задавая стандартный вопрос-заменитель: как мне организовать систему, которая давала бы приемлемое приближение к поведению человека при решении той же частной задачи. Обсуждаемые ниже программы являются именно такой попыткой разрешения этой

проблемы; мы же пользуемся другим подходом. Если мы не можем создать такую систему, то мы, наверное, захотим заново проверить, насколько справедливо предположение о том, что целенаправленное поведение человека регулируется именно этим способом. Однако и на том и на другом пути мы не можем не научиться кое-чему относительно структуры задач и поведения человека при их решении. Если мы стремимся создать системы искусственного интеллекта, которые могли бы решать широкий класс задач, целесообразно попытаться дать достаточно широкое определение самой понятия задачи, как таковой. Другими словами, что, собственно, имеют в виду, когда говорят, что система искусственного интеллекта имеет перед собой «задачу»? Ответ, к которому мы приходим, одновременно прост, точен и вполне согласуется с ранее введенными понятиями. Это определение охватывает все виды задач, ничуть не затемняя, однако, возможные различия между ними. Итак, мы говорим, что система искусственного интеллекта имеет перед собой задачу, когда она имеет или ей дано описание чего-то, но у нее еще нет чего-либо, что удовлетворяло бы этому описанию. Такое понимание задачи и образует главное направление, связывающее схему представления с динамическими моделями мышления человека.

Отметим прежде всего, что задачи исследовались, главным образом, в рамках изучения процессов их решения – изучения, осуществляемого наиболее широко в психологии мышления и в методике математики.

При всем разнообразии исследуемых явлений и используемых научных языков объекты, описываемые в качестве задач, обладают достаточно выраженной спецификой.

Эти обстоятельства, а также выявившаяся значимость категории задачи для актуальных междисциплинарных исследований дали основание ряду авторов выступить в начале 70-х гг. XX в. с предложением о разработке «проблемологии». Этим термином предлагалось обозначить специальную научную дисциплину, исследующую задачи (а также средства, способы и процессы их решения). В связи с быстрым становлением общей науки о системах (системологии) представляется целесообразным развивать общую теорию задач как ветвь системологии, рассматривая задачи как особый вид систем.

Разработка теории задач создает необходимые предпосылки для эффективного использования задачного подхода к осуществлению исследований и разработок в различных областях искусственного интеллекта. Его сущность (как одной из разновидностей системного подхода) состоит в том, что в каждой рассматриваемой ситуации:

а) выделяются системы, представляющие собой задачи, а также системы, обеспечивающие решение этих задач;

б) указываются качественные и количественные характеристики выделенных задач, а также средства и способы их решения.

Такой подход нашел, в частности, успешное применение в работах, направленных на построение обучающих и решающих систем искусственного интеллекта, использующих диалог человека и компьютера, а также на создание систем обработки данных, рассчитанных в основном на непрофессиональных пользователей вычислительных машин.

Одним из основных источников эмпирического материала и концептуальных средств для разработки общей теории задач и вместе с тем одной из основных сфер, где могут найти применение уже сформированные ее компоненты, является теория **искусственного интеллекта**. Важное значение, которое имеет для искусственного интеллекта понятие задачи, широко признано. Это касается не только тех разделов искусственного интеллекта, где процессы решения задач служат традиционным предметом исследования (как, например, мышлению или обучению), но и многих других областей, в том числе инженерной психологии, психофизики, психологии личности. Самым различным изучаемым в искусственном интеллекте процессам – начиная от элементарного двигательного акта и кончая жизненным путем личности – ставятся в соответствие задачи, детерминирующие их протекание.

Заметим, однако, что констатация значимости для искусственного интеллекта понятия задачи нередко сопровождается указанием на его нечеткость и отсутствие в связи с этим приемлемой классификации задач. Термин «задача» (равно как и соответствующие иноязычные термины) употребляется в литературе в самых разных значениях. Чаще всего, **задача трактуется как некий внешний фактор, детерминирующий активность субъекта.** Вместе с тем в ходе разработки теории деятельности, прежде всего в трудах психологов М. Я. Басова, С. Л. Рубинштейна, А. Н. Леонтьева, Г. С. Костюка и других, был развит иной подход к характеристике задач, позволяющий учесть с помощью этого понятия **не только внешние, но и внутренние источники активности (он воплощается, например, в рассмотрении задачи как совокупности цели субъекта и условий, в которых она дана).** Задача оказывается при этом одним из центральных для науки понятий, одной из категорий искусственного интеллекта.

Как следует из сказанного выше, рассматриваемая категория охватывает задачи, не только внешние по отношению к субъекту, но и внутренние для него (в том числе те, которые приняты им извне, и те, которые сформированы им самим). Наряду с мыслительными задачами рассматриваются перцептивные, мнемические, имагинативные, речевые, двигательные и т. д.; наряду с четкими, хорошо определенными вводятся в рассмотрение также и нечеткие, расплывчатые; наряду со сформулированными в речевой или иной знаковой форме – также и те, которые не получили такой формулировки (а значит, формулируются только исследователем; они обычно описываются в литературе под названием проблемных ситуаций). Разумеется, такая широта охвата объектов полезна лишь при условии должной четкости используемого понятийного аппарата. Для ее достижения желательно, на наш взгляд, опереться на систему понятий общей теории задач. (Напомним, что при ее построении используются данные как психологии, так и ряда других наук, в том числе в большей степени формализованных.)

Если понятие задачи трактуется достаточно широко, то деятельность субъекта (искусственного интеллекта) может быть представлена как система процессов решения задач. Подчеркнем, что это касается не только нормативных, но и творческих компонентов деятельности: в задачах, фактически решаемых субъектом, находят выражение не только требования, поставленные перед ним извне, но и устремления его личности.

Выделение решаемых субъектом задач, а также средств и способов их решения, установление качественных и количественных характеристик этих задач помогают исследованию и проектированию деятельности искусственного интеллекта. Расширяются, в частности, возможности выделения ее индивидуальных и прочих особенностей, сопоставления задач, фактически решаемых субъектом, с задачами, которые поставлены перед ним или должны решаться им в данной ситуации.

Перейдем к рассмотрению места категории «задача» в теории искусственного интеллекта. Достигнутые здесь результаты служат одним из основных источников идей и понятий общей теории задач. Вместе с тем привлечение данных логики и психологии, так же как и элементов создаваемой общей теории задач, к анализу задач, рассматриваемых в традиционном смысле (в частности, сюжетных математических задач), переводит такой анализ на качественно новый

уровень. Благодаря этому удается формировать научно обоснованные понятия о задачах искусственного интеллекта.

Отметим и другой аспект рассматриваемой проблемы. **Движущей силой процесса познания является противоречие между выдвигаемыми ходом обучения познавательными и практическими задачами и наличным уровнем знаний, умений и развития искусственного интеллекта.** Подчеркивается важность того, чтобы поставленная познавательная задача оказалась собственной задачей самого искусственного интеллекта, более того – чтобы она превращалась в цепь внутренне связанных задач, которые вызывают собственное стремление субъектов к познанию нового, неизвестного и к применению этого познанного в жизни. Руководимый субъектом процесс решения задачи, возникающие в этом процессе отношения, используемые средства и полученные результаты составляют структурную единицу процесса функционирования искусственного интеллекта.

Характеристике задач уделяется все большее внимание в различных исследованиях. При этом, однако, используемый концептуальный аппарат остается недостаточно разработанным; соотношения между такими понятиями, как «учебная задача», «дидактическая задача», «познавательная задача», «проблемная задача» и т. д., определяются разными авторами по-разному. Это затрудняет сопоставление и обобщение результатов различных исследований, а значит, и их практическое применение. **Будем полагать, что использование средств общей теории задач окажется в этой ситуации актуальным.**

Для того чтобы понятия указанной теории эффективно «работали» в области искусственного интеллекта, надо построить достаточно густую понятийную сеть – это даст надежду приблизиться с ее помощью к отражению противоречивой сущности изучаемых процессов и характерных для них непрерывных качественных переходов. (А. В. Брушлинский характеризует такого рода процессы с помощью понятия «недизъюнктивность»). **Уплотнение понятийной сети достигается с помощью известного в методологии науки приема – расщепления понятий (на два или большее их число) в соответствии с различными возможными оттенками смысла.** Мы будем широко пользоваться этим приемом, так же как и другим столь же известным приемом – **обобщением понятий**, – как бы расширяющим «площадь» понятийной сети, что позволяет описать с ее помощью больший диапазон явлений.

Изложение строится в соответствии с логикой развертывания системы понятий общей теории задач. Этим понятиям дается

психологическая и педагогическая интерпретация. Выдвигаемые положения иллюстрируются и комментируются, главным образом, на примерах из области обучения субъектов, а также на материале педагогических и психологических исследований его проблем. В связи с рассмотрением качественных и количественных характеристик задач и анализом средств их решения высказываются соображения о целесообразности использования искусственным интеллектом различных типов задач, о способах оценки научных достижений и умственного развития субъектов и по ряду других дидактических вопросов.

1.1. Исходные понятия теории задач

Прежде чем приступить к изложению основного содержания этого раздела, т. е. к характеристике задач, необходимо кратко рассмотреть некоторые общенаучные понятия, которые понадобятся в ходе этого изложения. Речь идет, в частности, о таких понятиях, как «предмет», «система», «структура», «информация», «модель», «знак», «воздействие», «операция». Отнюдь не стремясь к их развернутому анализу и к сопоставлению их различных интерпретаций, существующих в современной науке, мы ограничимся только теми трактовками, которые желательно, на наш взгляд, использовать для построения теории задач.

1.1.1. Предметы и системы

Начнем с весьма широкого понятия *предмета*. Как это принимается обычно в современной логико-философской литературе, мы будем понимать под предметом все то, на что направлена мысль исследователя, все, что может быть как-то воспринято, названо и т. д. Предметы, трактуемые в указанном смысле, могут быть не только материальными, но и идеальными, как, например, понятия, суждения, психические образы. Наряду с единичными (*индивидуальными*) предметами рассматриваются *родовые* (например, любой стол, любое уравнение). Иногда также оказывается удобным трактовать отсутствие предмета как особый, частный вид предмета (*пустой предмет*).

Во многих случаях мы будем пользоваться понятием *объекта*, считая его тогда еще более широким по сравнению с

понятием предмета. **Всякий предмет можно назвать объектом (и мы будем иногда поступать так из стилистических соображений), но объект является предметом, только если он выделен исследователем, зафиксировавшим те или иные его свойства.** Некоторые из последних могут появляться или исчезать, обуславливая переход предмета из одного *состояния* в другие. Так, человек может перекрасить волосы, оставаясь тем же самым человеком. **Доступные непосредственному наблюдению свойства называют признаками.**

Предметы могут претерпевать *изменения*. Всякое изменение предмета может быть описано либо как смена его состояния, либо как его превращение в иной предмет. Введение в рассмотрение пустых предметов позволяет рассматривать возникновение и исчезновение предметов как частные виды их изменений.

Перейдем теперь от отдельных предметов к их совокупностям. Для такой совокупности часто может быть указано *отношение*, в котором находятся составляющие его предметы. Так, например, для любых трех различных точек на прямой всегда имеет место отношение, состоящее в том, что одна из них находится между двумя другими.

Частным видом отношений являются *связи*. Два или большее число предметов можно считать связанными, если свойства одного (одних) из них зависят от свойств другого (других) из них. Примерами связей в рассматриваемом смысле могут служить жесткие и гибкие механические связи между твердыми телами, а также функциональные и стохастические (вероятностные) зависимости между величинами.

Множество предметов, рассматриваемое исследователем вместе с интересующими его отношениями между этими предметами, принято называть *системой*, а предметы, образующие указанное множество, – *компонентами* этой системы. В частности, можно говорить о системе трех точек на прямой (мы специально выбрали такой, не слишком типичный пример, чтобы подчеркнуть общность понятия системы). Но, скажем, «кусочек сыра, ненависть и марковский процесс, вместе взятые» (пример М. Тода и Э. Х. Шуфорда), вряд ли будут рассматриваться в качестве системы, так как трудно выделить отношения, которые имели бы место между названными предметами и при этом представляли интерес для исследователя.

В некоторых случаях удобно рассматривать в качестве частных видов систем определенных типов такие «вырожденные» случаи, когда в системе имеется всего один компонент. Так, например, в социологии и демографии иногда говорят о «семьях», состоящих из одного человека, сопоставляя их с настоящими семьями.

Всякую систему можно трактовать как некоторый единый предмет, в котором выделены те или иные компоненты, связанные между собой некоторыми отношениями. Как и любые предметы, системы могут быть индивидуальными и родовыми.

Часто оказывается полезным рассматривать иерархию систем, в которой система каждого нижележащего уровня (*подсистема*) выступает в качестве компонента системы более высокого уровня.

Нас будут интересовать следующие типы свойств системы.

1. *Структурные* свойства. Они характеризуют: а) отдельные компоненты системы, рассматриваемые каждый как единое целое; б) отношения между компонентами системы; в) отношения между отдельными компонентами и системой в целом (например, обязательность наличия в системе одних компонентов и необязательность других).

2. *Функциональные* свойства. Они характеризуют систему как единое целое, в том числе с точки зрения ее способности находиться в определенных отношениях с существующими вне ее предметами. К функциональным относятся, в частности, свойства, характеризующие *функционирование* системы. Последнее понятие охватывает происходящие с ней как с единым целым изменения, а также воздействия, оказываемые ею на находящиеся вне ее предметы.

3. *Субстратные* свойства. Это свойства, характеризующие отдельные компоненты системы, помимо тех свойств, которые вошли в группу «а» структурных свойств рассматриваемой системы.

Так, для молекулы некоторого вещества, рассматриваемой в качестве системы, химические элементы, входящие в ее состав, их атомные веса, их валентности (потенциально возможные и фактически проявляющиеся в данном случае), количество атомов каждого элемента, их расположение и характер связей между ними относятся к числу структурных свойств; устойчивость молекулы, ее способность к вступлению различные реакции – к числу функциональных свойств; строение атомов, из которых состоит молекула, виды и свойства элементарных частиц, входящих в состав этих атомов, – к числу субстратных свойств.

Структура системы может быть определена как совокупность ее относительно устойчивых структурных свойств. К примеру, структурная формула вещества изображает структуру его молекулы, а социограмма – структуру малой социальной группы.

Высокой степенью сходства структур обладают *изоморфные* системы, т. е. такие, между структурными свойствами которых существует взаимно-однозначное соответствие. Пример можно

привести тот же: молекула вещества и его структурная формула (если она, конечно, верна) изоморфны.

Подчеркнем, что структура присуща не вообще любому предмету, а только системе, т. е. предмету, определенным образом разбитому на компоненты. Поэтому свойства структуры существенным образом зависят от способа такого разбиения. Так, например, «даже небольшая рана меняет структуру организма на клеточном уровне, но не изменяет его структуру на органном уровне».

Наиболее общую количественную характеристику структуры некоторой системы принято называть *уровнем сложности* этой системы. Этот уровень тем больше, чем больше компонентов входит в состав системы и чем больше количество и разнообразие свойств этих компонентов и существующих между ними отношений.

1.1.2. Описания, планы и задачи

Рассмотрим отношения между описанием и понятием, данное Саймоном и Котовским в связи с их исследованием по формированию понятий для последовательных образов. Они утверждают, что «тот, кто выучил описание образа, выучил и понятие, воплощенное в соответствующей последовательности». Мы можем рассматривать эту задачу как предельный случай, поскольку описания являются по существу полными. Они включают *всю* информацию об образе, за исключением протяженности образа и таких не относящихся к делу деталей, как размещение всей последовательности букв на странице, размер букв и т. д. Поэтому все последовательности букв, удовлетворяющие описанию, будут тождественны, за исключением длины и несущественных деталей указанного выше вида.

В общем случае описания не являются полными. Тем не менее отмеченная Саймоном и Котовским эквивалентность сохраняется. Если нам дано правило (или критерий), определяющее некоторое множество, и известно, что некоторый элемент удовлетворяет этому правилу, то это правило формально эквивалентно описанию элемента. Если правило неполностью задает элемент, как, например, правило для понятия «две синие фигуры» не полностью определяет некоторый конкретный положительный пример в эксперименте Брунера и др., то оно является правильным, но неполным описанием элемента. Другими словами, если карточка представляет собой положительный пример понятия, то будет правильно описать ее как содержащую две синие фигуры, хотя такое описание и не дает нам всей информации о карточке. При всей своей простоте и очевидности эта эквивалентность образует основу для понимания планов и задач в поведении человека.

Более того, она дает также способ распространить развитую ранее схему структур познания и мышления отдельного индивидуума на проблемы языка, коммуникации и на решение задач в коллективных системах (групповые решения). Наиболее интересно то, что эта эквивалентность позволяет нам осуществить такое расширение круга проблем не за счет увеличения числа основных средств, а благодаря возможности использовать *те же правила*, которые определяют понятия, в *новой* функциональной роли, например в качестве критериев при решении задач.

До сих пор мы рассматривали отношения между множествами, с одной стороны, и элементами, которые удовлетворяли определяющим эти множества правилам — с другой. Мы обсуждали примеры элементов, которые мы называли понятиями, по отношению к некоторым другим элементам, и мы показали, как такие другие отношения, отличные от отношения модели к моделируемому объекту, могут быть рассмотрены аналогичным образом. Распространение этого подхода на планы и задачи требует несколько более широкого взгляда на смысл информационных процессов, в котором выступают эти отношения. Если мы сделаем это, мы обнаружим, что основное отношение между правилом, определяющим множество, и элементами этого множества выполняет при этом несколько важных функциональных ролей. Предположим, например, что элементы, удовлетворяющие некоторому частному правилу, нам *недоступны*. В этом случае данное правило или описание может приобрести психологическую функцию чертежа, схемы или *плана*, который мы затем используем для того, чтобы направить наши усилия на *создание, порождение* или *вырабатывание* одного или более элементов, которые отвечают описанию.

Отметим, что относительно видов объектов или элементов, которые могут вступать в такое отношение, не существует никаких ограничений. Мы можем иметь описания предметов, процессов или последовательностей состояний или событий, функционирующие как планы для элементов, которые могут удовлетворить описаниям. В дальнейшем мы будем иметь дело даже с еще более сложными элементами — с объектами, которые соответствуют *последовательностям событий*. Однако, как бы мы ни классифицировали конкретный элемент, если он должен быть создан так, чтобы удовлетворять некоторому ряду условий, то отношение между правилом, воплощающим эти условия, и самим элементом следует понимать как отношение между планом и реализацией плана. Отсюда сразу же следует понятие *задача*. Действительно, мы порожаем задачу, когда связываем с описанием того, что мы желаем, требование, что должен быть

получен, найден или создан элемент, удовлетворяющий этому описанию.

Здесь сделаем небольшое предостережение. Речь идет о двойственном смысле, присущем таким *словам*, как «понятие», «план» или «задача», в противоположность тем познавательным структурам, которые мы обсуждаем. Так, слово *план*, например, может применяться к таким объектам, как документы, чертежи, словесные утверждения и несформулированные идеи. Одной из характеристик, которые позволяют какому-либо элементу называться планом в нашем понимании, является его положение в качестве первой составляющей некоторой упорядоченной пары, которая в свою очередь является элементом *отношения* P (т. е. *план чего-то*). Другими словами, **план — это некоторый элемент x , такой, что $P(x)$ является множеством (возможно, и пустым) элементов y, z и т. д., каждый из которых является реализацией плана x .** Заметим, что, если дано такое определение, сразу же становится возможным определить — для человека или системы искусственного интеллекта — некоторый элемент z так, что z является членом $P(x)$, т. е. так, что z является реализацией плана x ; при этом мы в свою очередь можем *определить задачу*, связав с x *требование задачи*, чтобы был найден, выработан или создан элемент z , такой, что z является членом $P(x)$.

Вначале мы отметили желательность широкого определения понятия *задачи*, и ниже мы на практике покажем широту этого определения. Для некоторых применений оно может оказаться даже слишком широким. Задача (problem) становится эквивалентной заданию (task) или цели (goal). Иначе говоря, правила превращается в критерии для выполнения задания или достижения цели так же, как и для решения задач. Действительно, наше определение фактически охватывает любое поведение, которое можно считать «направленным» по отношению к описанию того, что должно быть достигнуто. В этом смысле оно охватывает комплекс поведений, который Миллер и др. описывают понятием единицы поведения TOTE. Не все виды поведения подходят под это определение, а многие из тех, которые ему удовлетворяют, чаще изучаются как вопросы мотивации, чем решения задач. Отметим, что даже в ограниченном контексте теории искусственного интеллекта не выработано единого словоупотребления. В частности, Ньюэлл и др. ограничивают использование слова *задача* ситуациями, в которых «решающий задачу желает получить некоторый результат или некоторое «состояние дел», не зная непосредственно в данный момент, как их достигнуть. Неполное знание того, как поступать, является ядром подлинной проблематики».

Нетрудно понять, исходя из здравого смысла, что подразумевает определение Ньюэлла и др. Но если мы попытаемся выразить это в более определенном виде, нам придется встретиться с трудностями. Здесь есть две ключевые идеи. Первая — это введенное в свое время Ньюэллом, Шоу и Саймоном (а затем видоизмененное Ньюэллом и Саймоном) понятие **о различении эвристических методов, т. е. системы правил, которые не гарантируют решения, и алгоритмических процедур, которые его гарантируют.** Однако, если говорить точно, то в реальном мире вы не найдете того, что мы называем абсолютной гарантией. Только формальная система может гарантировать абсолютное безразличие ко всему, кроме некоторого определенного числа источников отклонений, но даже эта гарантия приложима только к формализмам, а не к их эмпирическим реализациям. Мы можем, например, построить алгоритм для задачи формирования понятий в опыте Брунера и др. Формально этот алгоритм всегда приводит к решению при условии, что он применяется к задачам надлежащего вида. На практике, однако, он может привести и к неправильному решению или вообще не привести ни к какому решению, если мы где-то запишем неправильный символ. По тому же принципу мы можем доказывать утверждения об идеальной вычислительной машине, совершающей, по определению, лишь неизменные операции, такие, как *условный переход* или *считывание*. Но реальная программа для вычислительной машины, объединяющая эти операции в алгоритм, должна, как всякая эмпирическая система, включать и операции контроля. В противном случае возможно, что непредвиденная машинная ошибка может, например, фактически перенести операцию считывания на место условного перехода, тем самым сведя на нет формальную гарантию отсутствия различий во всем, кроме некоторого определенного числа источников отклонений. А без такой гарантии не может быть и гарантии в правильной работе программы, выполняющей данный алгоритм. Ньюэлл и др. могли бы считать, например, завязывание шнурков на ботинках слишком тривиальным заданием, чтобы квалифицировать его как «задачу». Но, хотя вряд ли есть что-нибудь более вероятное, чем то, что я завтра смогу зашнуровать свои ботинки, мы все же не можем знать этого наверняка. Это соображение важно, поскольку оно означает либо то, что мы не можем говорить о «задачах» и «незадачах», а всегда должны подразумевать некоторую степень наличия признаков задачи, либо то, что мы должны протянуть некоторую произвольную линию между тривиальным и «истинно проблемным» концами пространства задач. Вторая идея, лежащая, по-видимому, в основе этого определения, касается того, что имеется в

виду, когда говорят, что система переработки информации «знает», как достичь некоторого «состояния дел». Поскольку любая детерминированная система либо имеет способ двигаться дальше, либо должна остановиться, то кажется ясным, что ее определение предполагает употребление слова «знать» в более ограниченном смысле. Можем ли мы сказать, что система знает, как продолжать действовать, если она может найти наименование метода, имеющего большие шансы на успех в ситуациях того вида, с которыми в настоящее время столкнулась система? Но даже этого на деле недостаточно. Играя с новичком, мастер-шахматист знает, что он может найти метод, вероятность которого привести к победе столь же высока, как и вероятность успешного зашнуровывания ботинок. Действительно важное различие между игрой в шахматы в этой ситуации и шнурованием ботинок, видимо, того же порядка, что и различие, которого мы коснулись при обсуждении невозможности абсолютной гарантии в отношении эмпирических ситуаций. Источники неконтролируемых отклонений есть и в случае шнурования ботинок, но их вклад в общие отклонения может считаться достаточно малым. Встретившись с необходимостью зашнуровать ботинок, я могу мысленно проделать необходимые движения в своем воображении, будучи уверен, что я смогу на деле выполнить их таким способом, если только не случится какое-то невероятное событие. Мастер-шахматист не может мысленно проделать аналогичную последовательность шагов, но лишь потому, что в его власти управлять только каждым следующим шагом. Поскольку в каждой позиции имеется три десятка возможных ходов, он не может тотчас же узнать, как действовать,— не потому, что он не имеет доступа к методам, про которые он знает, что они будут успешно работать, но вследствие того, что он просто не может предвидеть, что в дальнейшем может произойти в ходе игры. Отсюда следует, что если только Ньюэлл и др. не приравнивают «проблемность» наличию неконтролируемых вариаций, то это представляется зыбкой базой для принципиального различия.

Несомненно, можно провести полезные разграничения среди типов задач, заданий и целей. Однако нам хотелось бы иметь возможность обращаться с задачами так, как мы обращались с понятиями, т. е. рассматривая их в рамках весьма общей схемы, находящейся в хорошем соответствии с другими познавательными конструкциями, удобной для использования в реальных программах по решению задач и достаточно богатой для того, чтобы служить основой для сравнительного анализа сложного пространства задач, с которыми имеет дело человек.

1.1.3. Модели. Информация

К числу систем, обладающих специфическими функциональными свойствами, принадлежат *модели*. Система *B* является **моделью системы *A*** для активной системы *Q* (человека-индивида, коллектива, животного, робота и т. п.), если основанием для ее использования этой активной системой служит ее **структурное сходство с моделируемой системой *A***.

Так, например, структурное сходство топографической карты и определенного участка местности позволяет человеку с помощью карты ориентироваться на этом участке. **Это дает право считать карту его моделью.**

Совокупность структурных свойств модели *B*, которые соответствуют (или предполагаются соответствующими; точнее всего будет сказать: используются системой *Q* как соответствующие) структурным свойствам системы *A*, составляет *информацию*, которую модель *B* несет о моделируемой системе *A* для активной системы *Q*.

Если в роли системы *Q*, использующей модель, выступает исследователь, который с целью познания системы *A* изучает ее модель *B*, то мы приходим к понятию модели как средства научного исследования. Именно в этом качестве модели чаще всего рассматриваются в литературе по методологии науки.

Вместе с тем в науках, изучающих **функционирование активных систем**, – кибернетике, психологии, педагогике, физиологии, лингвистике и ряде других – **модели выступают и как предметы исследования**. Специфического рода модели служат предметами исследования в математике. Как подчеркивает академик С. Л. Соболев, рассматривая вопросы математического образования, «практическая направленность курса математики в наше время означает прежде всего то, что **учащихся надо познакомить с соотношениями между явлениями реального или проектируемого мира и его теоретическими моделями...** Курс начальной математики выполнит свою задачу, если удастся объяснить, что абстрактная математическая модель, в которой отброшено все несущественное, позволяет глубже понять суть вещей».

При целенаправленном создании моделей обычно стремятся к тому, чтобы **они были изоморфны моделируемым системам** (под **изоморфизмом** будем понимать **взаимно-однозначное соответствие** между структурными свойствами сопоставляемых систем, а под **гомоморфизмом** будем понимать понятие, которое охватывает случаи **однаправленного соответствия** между структурными свойствами сопоставляемых систем). Однако в общем определении модели мы не

ввели ссылку на изоморфизм. Это противоречило бы опыту плодотворного применения в некоторых науках широко трактуемой категории модели (отнюдь не опирающейся на понятие об изоморфизме).

В качестве иллюстрации приведем следующее высказывание Ю. М. Лотмана: «Язык художественного произведения – совсем не «форма», если вкладывать в это понятие представление о чем-то внешнем по отношению к несущему информационную нагрузку содержанию. Язык художественного текста в своей сущности является определенной художественной моделью мира и в этом смысле всей своей структурой принадлежит «содержанию» – несет информацию».

Модель может быть как вторична по отношению к моделируемой системе (для обозначения которой, в этом случае используются также термины «прототип» и «оригинал»), так и первична по отношению к ней. К примеру, чертеж можно считать моделью изображенного на нем изделия для работающего с этим чертежом человека и тогда, когда чертеж выполнен по готовому изделию, и тогда, когда изделие изготавливается по чертежу. В качестве моделей, первичных по отношению к моделируемым системам, выступают проекты, предписания, прогнозы и т. п.

Подчеркнем, что отношение «быть моделью» связывает три предмета, а именно системы A , B и Q . Поэтому, говоря о модели или о несомой ею информации, необходимо так или иначе фиксировать систему Q , использующую модель.

Это может быть, в частности, родовая система, подчиняющаяся той или иной норме, установленной для систем этого рода. Информацию, которую несет та или иная модель для системы такого типа, будем называть *нормативной*. Так, например, можно говорить о нормативной информации, которую несет топографическая карта об изображенном на ней участке местности, – это информация, которую она несет (должна нести) для всякого человека, умеющего читать карту и знакомого с принятой при ее построении системой обозначений.

Пусть система B есть модель системы A для активной системы Q . Пусть система A состоит из подсистем A_1, A_2, \dots, A_n , а система B – из подсистем B_1, B_2, \dots, B_n , причем каждая подсистема B_i , ($i = 1, 2, \dots, n$) есть модель (для системы Q) соответствующей подсистемы A_i . При этом информация, которую система B несет о подсистеме A_i системы A , вообще говоря, не исчерпывается той информацией, которую несет об этой подсистеме соответствующая ей подсистема B_i системы B . Эту последнюю информацию можно назвать *прямой*, а остающуюся часть информации, которую система B несет о подсистеме A_i , системы A , –

косвенной информацией о подсистеме A_i . Приведем пример. Изображение или описание какого-либо персонажа из произведения живописи или литературы несет об этом персонаже прямую информацию для зрителя или читателя, а другие компоненты произведения, так или иначе связанные с этим изображением или описанием, – косвенную информацию об упомянутом персонаже.

Информация, которую модель B несет о моделируемой системе A для активной системы Q , может быть охарактеризована:

- а) своим объемом;
- б) степени *адекватности*, т. е. тем, в какой мере структурные свойства модели, используемые в качестве соответствующих структурным свойствам моделируемой системы, действительно им соответствуют (в описываемой системе понятий не учитывается наличие или отсутствие в модели B «ложной информации» о системе A ;
- в) степенью *полноты*, которая при прочих равных условиях тем больше, чем больше объем и адекватность рассматриваемой информации, и тем меньше, чем сложнее моделируемая система A .

Во многих случаях исследователь в силах оценить адекватность или полноту информации, несомой моделью B о системе A , лишь условно – по отношению не к самой моделируемой системе A , а к ее эталонной модели a_0 , которая несет о ней информацию, принимаемую исследователем за вполне адекватную или достаточно полную.

Приведем пример. Частным видом полноты информации можно считать так называемую информативность вторичного документа, выражающую «степень (меру) адекватного воспроизведения в нем основных элементов содержательной и формальной структуры первичного документа» (первичным документом служит, например, статья, а вторичным – ее реферат). С нашей точки зрения, эта характеристика представляет собой безусловную полноту информации, которую вторичный документ несет о первичном документе для воспринимающей вторичный документ активной системы (человека или автомата). Одновременно информативность вторичного документа можно трактовать как условную полноту информации, которую этот документ несет для той же активной системы о предмете, описываемом в первичном документе, эталонной моделью, несущей достаточно полную информацию, служит при этом первичный документ.

Модели целесообразно подразделять на материальные, материализованные и идеальные.

Материальные модели отличаются тем, что их субстратные свойства существенно влияют на их функционирование. Характерными примерами здесь могут служить действующие модели

машин или, скажем, животные, используемые в медицинских экспериментах в качестве моделей человека.

Материализованные модели также обладают субстратными свойствами, однако их функционирование мало зависит от природного бытия их субстрата.

П. Я. Гальперин говорил о «формировании действия, выполняемого физически, с материальными объектами или их изображениями и письменными обозначениями (материализованными объектами)». Здесь вполне подошел бы термин «материализованная модель».

Наконец, *идеальные* модели вообще не обладают субстратными свойствами, поскольку в них осуществлено абстрагирование от субстрата (материальной формы). Можно рассматривать идеальные модели (в том числе образные и понятийные), существующие в психике отдельных индивидов, и те модели, которые присутствуют в общественном сознании.

Всякой идеальной модели соответствует несущая ее материальная или материализованная модель, например психической модели – некоторая система нервных процессов, понятийной модели, существующей в науке, – некоторая система текстов.

Здесь уместно охарактеризовать понятие *знания*. **Всякое знание есть идеальная модель (для некоторой активной системы, например социума или индивида), состоящая не менее чем из двух компонентов, каждый из которых также представляет собой идеальную модель.**

Простейшей формой знания является, как известно, суждение. Понятия, играющие роль субъекта и предиката суждения, выступают в качестве компонентов-моделей, упомянутых в приведенном определении.

1.1.4. Знаки и знаковые модели

С понятием модели находится в связи понятие *знака*. Знаком системы A для активной системы Q является всякий такой предмет Z , воздействие которого на систему Q с достаточно высокой вероятностью обеспечивает формирование в составе системы Q ее подсистемы E , представляющей собой модель системы A для системы Q , или же активизацию такой подсистемы, ее привлечение к использованию (если она была сформирована ранее). Так, например, **под воздействием слова, обозначающего какую-либо вещь, в сознании человека возникает ее образ.**

Система A в приведенном определении – это то, что принято называть *денотатом* или *предметным значением* знака Z . Что касается *смысла*, или *смыслового значения*, данного знака, то его можно отождествить с информацией, которую несет модель E о системе A для системы Q (согласно А. Черчу, «грубо говоря, смысл – это то, что бывает усвоено, когда понято имя»; «будем, к примеру, говорить, что «сэр Вальтер Скотт» и «автор Вэверлея» имеют один и тот же денотат, но различный смысл»). Знак, вообще говоря, не совпадает со своим денотатом или какой-либо его моделью, хотя в частных случаях такое совпадение имеет место.

Смысл одного и того же знака для разных активных систем (в частности, для разных субъектов) может быть различен. Вместе с тем для очень многих знаков можно указать нормативную информацию, которую должны нести модели, привлекаемые к использованию или формируемые под воздействием этих знаков. Эта информация представляет собой *нормативный смысл* знака. Так, например, можно говорить о нормативных смыслах слов того или иного языка. Смысл, которым обладает некоторый знак для конкретной активной системы (например, смысл слова для конкретного человека – носителя языка), может в большей или меньшей степени приближаться к нормативному смыслу этого знака. **Системы, все компоненты которой служат знаками, называют знаковыми системами. К их числу принадлежат, в частности, естественные и искусственные языки, а также математические и логические исчисления. Пример более простой знаковой системы – система дорожных знаков.**

Частным видом знаковой системы является *знаковая модель*. Знаковую модель B системы A для системы Q , если рассматривать ее как единое целое, обычно можно считать также своеобразным знаком моделируемой ею системы A для системы Q . Смысл этого знака (смысл знаковой модели) представляет собой информацию о системе A , которую несет не сама модель B , а модель E , формируемая или привлекаемая к использованию системой Q под воздействием модели. **Подобно тому как было сказано выше о нормативном смысле знака, можно говорить и о нормативном смысле знаковой модели. Смысл знаковой модели (в частности, нормативный) зависит как от смыслов составляющих ее знаков, так и от способов соединения последних.**

Приведем простейший пример. В то время как слово естественного языка служит (в общем случае) лишь знаком обозначаемого им предмета, но не его моделью, составленное из слов предложение выступает уже в качестве знаковой модели описываемой в нем ситуации: в структуре этой ситуации (рассматриваемой в

качестве системы) предполагается сходство со структурой предложения. (Весьма распространен, скажем, случай, когда сказуемому соответствует некоторое действие, подлежащему – его субъект, прямому дополнению – его объект.) **Знаковыми моделями являются также математические выражения, химические формулы и т. п.**

В качестве знаковой модели может быть рассмотрен любой текст. Как пишет А. А. Брудный, общий смысл текста «есть то, что бывает (или должно быть) усвоено, когда понят текст». Вариант «должно быть усвоено» естественно трактовать как относящийся к нормативному смыслу текста.

В соответствии со сказанным выше смысл текста (будь то для конкретного реципиента Q или нормативный), как правило, не охватывает всех компонентов несомой этим текстом информации (соответственно – для реципиента Q или нормативной), но вместе с тем может содержать дополнительные компоненты, которые реципиент под воздействием указанного текста (благодаря, например, содержащимся в нем намекам, его «подтексту») привлекает из своей памяти или заново формирует.

Знаковые модели чаще всего выступают в качестве материализованных, хотя они могут быть также материальными (если их субстратные свойства существенны) и идеальными (как, например, присутствующий в сознании человека слуховой образ предложения естественного языка или зрительный образ математического выражения).

1.1.5. Воздействия и операции

Воздействие предмета B на предмет A – это событие, состоящее в том, что предмет B (возможно, совместно с предметами C , D и др.) вызывает или предотвращает некоторое изменение предмета A . Предмет B (так же, как предмет C , предмет D и т. д.) является здесь *воздействующим предметом (воздействующей системой* – если исследователь выделяет в нем те или иные компоненты), а предмет A – *объектом воздействия*.

Воздействие предмета B на предмет A может быть как *непосредственным*, так и *опосредованным*. В последнем случае существует (и учитывается исследователем), по меньшей мере, один такой предмет C , что B воздействует на C , а C воздействует на A .

Описывая непосредственные воздействия некоторой системы на те или иные предметы, часто имеет смысл уделять специальное внимание тому, какие именно компоненты или свойства этой системы обеспечивают осуществление воздействий. Иначе говоря, полезно

выделять способности воздействующей системы к осуществлению непосредственных воздействий определенных типов. Эти способности мы называем *операторами*, а воздействующую систему, в которой они выделены, – *оперирующей системой*. Воспользовавшись для обозначения вводимого понятия термином «оператор», мы ориентируемся на один из важных аспектов его значения в кибернетике и информатике. Сходное понятие оператора привлекалось и для построения моделей решения задач.

Для оперирующей системы каждого типа можно указать характеризующий ее набор операторов. Как говорится в одном из руководств по программированию для вычислительных машин, «операторы «смешать», «помешать», «охлаждать» и «взбивать» характерны для процессов приготовления пищи, в то время как операторы «присвоить значение», «извлечь квадратный корень» и «повторять следующие вычисления» пока характерны для вычислительных процессов». **Умения и навыки субъекта могут быть описаны как системы операторов, которыми он владеет (в частных случаях – как единичные операторы).**

Функционирование оператора состоит в том, что он применяется оперирующей системой к тому или иному предмету, т. е. эта система осуществляет при помощи этого оператора свое непосредственное воздействие на указанный предмет. Предмет, к которому применяется оператор, называют *операндом*. Будем говорить, что операнд *K* релевантен для оператора χ , если применение χ к *K* может привести к тому или иному изменению предмета *K* или какого-либо иного предмета. Например, для оператора, состоящего в способности поставить операнд в повелительном наклонении, релевантными операндами являются только глаголы.

В трудовом обучении, как отмечает Л. В. Беспалько, «необходим выбор такой совокупности объектов труда, чтобы действия с ними обеспечивали наиболее полное отражение в осваиваемых трудовых умениях всего разнообразия возможных элементов» (речь идет об элементарных движениях). С нашей точки зрения, этот пример иллюстрирует необходимость обеспечения набора операндов, релевантных для операторов, которые должны быть сформированы.

Событие, состоящее в применении оператора к релевантному для него операнду, естественно назвать операцией.

Операции описываются, например, следующими предложениями: «Ударить кием по бильярдному шару»; «Возвести число 2 в квадрат». В этих предложениях выделенные курсивом слова описывают операторы, а прочие слова описывают операнды.

При выделении операндов и операторов в описаниях операций часто допустим определенный произвол. Например, в описании операции «Подчеркнуть окончание в существительном кукла» слова «окончание в существительном» в зависимости от того, что удобнее, могут быть отнесены либо к описанию оператора, либо к описанию операнда.

Часто рассматривают операции, состоящие в применении некоторого оператора одновременно к нескольким предметам, например: «Сложить числа a , b и c ». Здесь в принципе можно было бы говорить о нескольких операндах. Мы, однако, предпочитаем рассматривать такого рода совокупность предметов как единый составной операнд.

Вспомним приведенное ранее положение о том, что предметы могут быть индивидуальными и родовыми. Это положение относится, в частности, и к операндам. Операцию, состоящую в применении некоторого оператора к индивидуальному операнду, можно назвать *индивидуальной*, а состоящую в его применении к родовому операнду – *родовой*. **Родовыми операциями** являются, например, «открытие окна», «затачивание карандаша», а **индивидуальными** – «открытие этого окна», «затачивание того карандаша».

В предельном случае родовая операция представляет собой применение соответствующего оператора к любому релевантному для него операнду. Таковы, например, так называемые обобщительные операции анализа, синтеза, сравнения и т. д. Вместе с тем, указывал С. Л. Рубинштейн, «анализ и синтез как операции выступают всегда в той или иной частной, специальной форме проявления, обуславливаемой определенным предметным содержанием».

Не следует смешивать понятия «операция» и «воздействие». **Операция, как было сказано выше, – это применение некоторого оператора к тому или иному операнду, а воздействие – это вызывание (или предотвращение) некоторого изменения. Одно и то же воздействие (точнее – воздействие, обеспечивающее одно и то же изменение) может осуществляться посредством различных операций (или систем операций).** Так, воздействие, приводящее к превращению числа 2 в число 8, может быть осуществлено посредством таких операций, как: а) прибавление к числу 2 числа 6; б) умножение числа 2 на число 4; в) возведение числа 2 в куб.

Вместе с тем посредством одной и той же операции может осуществляться ряд воздействий (например, посредством удара кием по шару этот и другой шары загоняются в лузу; кроме того, шары нагреваются, издается звук и т. п.). Заметим, однако, что

исследователь всегда ограничивается рассмотрением для каждой операции одного или нескольких воздействий, представляющих интерес с его точки зрения. Различение операций и воздействий весьма существенно для характеристики человеческой деятельности и организации управления ею. Важное направление совершенствования методов хозяйствования состоит в том, чтобы обеспечить «тесную увязку интересов трудовых коллективов с конечными результатами работы» и «усилить зависимость оплаты труда каждого работника от его личного вклада в конечные результаты». Это связано с тем, что общество заинтересовано в осуществлении трудовыми коллективами (и отдельными работниками) определенных социально значимых воздействий. Что же касается выбора операций, посредством которых следует обеспечить эти воздействия, то здесь должен быть открыт широкий простор для инициативы работников и коллективов, чему мешает мелочная регламентация их деятельности.

Аналогичные коллизии имеют место и в педагогической сфере. Один из «парадоксов воспитания» Я. С. Турбовской справедливо усматривает в «довольно распространенном явлении, когда воспитание как бы сводится к самому процессу, к... проведенным мероприятиям, затраченным усилиям, а вся эта деятельность напрямую в нашем сознании не связывается с тем, что в конце концов получится». Иными словами, педагоги интересуются не реальными воздействиями на личность воспитуемого, а осуществляемыми воспитательными операциями, как бы забывая о том, что последние нужны только как средство для достижения требуемых воздействий.

Рассмотрим теперь соотношение понятий «операнд» и «объект воздействия» и дополним в связи с этим характеристику непосредственных и опосредованных воздействий.

В случае непосредственного воздействия оперирующей системы на некоторый предмет операнд совпадает с объектом воздействия; в случае же опосредованного воздействия такого совпадения нет.

Возьмем простейший пример: «Пассажир нажал кнопку – кабина лифта опустилась на первый этаж». Здесь операнд (кнопка) не совпадает с интересующим нас объектом воздействия (кабиной). Оператор обозначен здесь словом «нажал» и состоит в способности (умении) пассажира нажимать на что-либо.

Одно из важных отношений между воздействиями и обеспечивающими их операциями может быть раскрыто с помощью понятий об эффективных и квазиэффективных операциях. *Эффективной* мы называем операцию, обеспечивающую совершенно определенное воздействие на некоторый предмет (т. е. вызывающую или предотвращающую совершенно определенное изменение этого

предмета). Термин «квазиэффективная операция» мы относим к операциям, обеспечивающим такое воздействие с вероятностью, достаточно близкой к единице.

Об эффективности или квазиэффективности операций имеет смысл говорить только по отношению к определенной оперирующей системе, осуществляющей эту операцию. Эффективные операции характерны для идеализированных оперирующих систем, рассматриваемых в различных теоретических построениях. Нередко также, описывая функционирование реальных оперирующих систем (например, компьютеров), можно пренебречь их отличием от идеализированных оперирующих систем, осуществляющих только эффективные операции (например, от абстрактных цифровых автоматов). В этом смысле говорят об «абстракции безошибочности». Важно, однако, что при характеристике таких реальных систем в других отношениях (например, при оценке надежности компьютеров) подобная абстракция неправомерна.

При переходе от описаний функционирования технических систем к описаниям человеческой деятельности сфера применимости абстракции безошибочности сужается. В связи с этим именно здесь оказывается весьма полезным понятие квазиэффективной операции (квазиэффективные операции описываются иногда под названием «элементарные»).

Отличие квазиэффективной операции от эффективной состоит не только в том, что первая обеспечивает определенное воздействие не всегда, но лишь как правило (с достаточно высокой вероятностью). Из этого очевидного различия вытекает другое: **операция, являющаяся частным видом эффективной операции, всегда также эффективна; операция же, являющаяся частным видом квазиэффективной операции, может не оказаться квазиэффективной.**

Пусть, например, для некоторого человека операция написания наречия с приставкой *по-* квазиэффективна в том смысле, что не менее чем в 98% случаев он пишет такое наречие правильно. Из этого, однако, вовсе не следует, что с вероятностью, не меньшей 0,98 (или с любой иной фиксированной вероятностью), он правильно напишет наречие «по-прежнему» (как известно, раньше это слово было исключением и писалось слитно).

Вообще, из того, что предмет (операнд) *В* является частным видом предмета (операнда) *А*, еще не следует, что субъект будет воспринимать предмет *В* именно в этом качестве и применять к нему соответствующие операторы. В школьной практике, как известно, весьма часты ситуации, когда наличие у предметов несущественных признаков, не встречавшихся в прежнем опыте

ученика (например, такое расположение прямоугольного треугольника, когда он «лежит» на гипотенузе, а прямой угол находится сверху), приводит к ошибкам в опознавании таких предметов. Использование приемов варьирования несущественных признаков и в особенности реализация в обучении принципов теоретического обобщения снижают вероятность возникновения таких ситуаций.

В дальнейшем нам понадобится еще понятие об *эталонной операции*. Пусть операторы и операнды квазиэффективной операции a и эффективной операции a_0 соответственно совпадают. Пусть, кроме того, операция a с вероятностью, достаточно близкой к единице, обеспечивает то же воздействие (или те же воздействия), которое (которые) обязательно обеспечивает операция a_0 . **В этом случае будем называть эффективную операцию a_0 эталонной операцией для квазиэффективной операции a .**

1.1.6. Процедуры. Алгоритмы и квазиалгоритмы

Процедуру можно определить как систему последовательно осуществляемых операций, обладающую следующим свойством: после любой операции, входящей в ее состав, либо больше не выполняется никаких операций, либо выполняется некоторая определенная операция, либо имеет место *разветвление* процедуры, т. е. выполняется одна из некоторого конечного набора операций.

То, какая именно операция осуществляется при разветвлении вслед за данной операцией, может однозначно определяться тем, выполняются ли некоторые четкие условия, содержащие ссылки на тот или иной признак (признаки) какого-либо предмета (предметов). Разветвления, обладающие этим свойством, мы называем *однозначно детерминированными*, а все прочие разветвления – *неоднозначно детерминированными*.

Одиночную операцию можно рассматривать как частный («вырожденный») вид процедуры (вспомним сказанное ранее о «вырожденных» системах, состоящих из одного компонента). Введем еще понятия об алгоритмических и квазиалгоритмических процедурах.

Мы называем процедуру алгоритмической, если она состоит из эффективных операций и не содержит неоднозначно детерминированных разветвлений. К алгоритмическим приближаются по своим свойствам квазиалгоритмические процедуры. Они состоят из квазиэффективных операций или из эффективных и квазиэффективных. Квазиалгоритмическая процедура, вообще говоря, может содержать неоднозначно детерминированные разветвления, но то, какая именно операция осуществляется при таком разветвлении вслед за данной операцией, с

достаточно высокой вероятностью определяется тем, выполняются ли условия того типа, который был описан выше при характеристике однозначно детерминированных разветвлений.

При выяснении того, является ли некоторая процедура алгоритмической (или квазиалгоритмической), обязательно надо учитывать, какая система осуществляет или должна осуществлять ее. Ведь вполне возможен случай, когда некоторая операция эффективна (или квазиэффективна), если выполняется системой Q , и не обладает этим свойством, если выполняется системой R .

Процедуры, описываемые как фактически осуществленные, обычно не содержат разветвлений. Обычно, но не обязательно. Так, например, следователь может считать доказанным фактом, что преступник уехал из города либо поездом, либо автобусом, но не имеет достаточной информации для вынесения суждения о том, какая из этих возможностей была реализована.

Разветвления характерны для процедур, описываемых как некоторые закономерности, а также для предписываемых процедур. При этом чаще всего используются разветвления по двум направлениям, хотя находят применение и разветвления по большему числу направлений.

Предписание о выполнении алгоритмической (или квазиалгоритмической) процедуры – при условии, что хотя бы одна из входящих в нее операций является родовой, – это *алгоритм* (или соответственно *квазиалгоритм*). Понятие квазиалгоритма используется Г. Н. Александровым. Квазиалгоритмы, предназначенные для применения в обучении, описывались также под названием учебных алгоритмов и предписаний алгоритмического типа

Если учитывать ограниченную надежность осуществления тех или иных операций, предусмотренных программой для компьютера, то ее нужно считать не алгоритмом в собственном смысле слова, а квазиалгоритмом. Вместе с тем главной сферой применения понятия «квазиалгоритм» являются предписания, реализуемые людьми. Как пишет Ст. Лем, «алгоритм математика-теоретика никогда не может «подвести»: тот, кто однажды разработал алгоритм математического доказательства, может быть уверен, что это доказательство никогда не «подведет». Прикладной алгоритм, которым пользуется инженер, может и подвести, потому что в нем «все предусмотрено заранее» только внешне».

Пусть всякой операции a_0 , предписываемой алгоритмом A_0 (напомним, что операция a_0 обязательно эффективна), соответствует в квазиалгоритме A операция a , такая, что

а) операторы и операнды операций a и a_0 соответственно совпадают;

б) операция a также эффективна или же она квазиэффективна, но при этом операция a_0 является для нее эталонной.

В таком случае мы называем алгоритм A_0 *эталонным алгоритмом* для квазиалгоритма A .

Поскольку решение вопроса об эффективности (равно как и о квазиэффективности) любой операции зависит от свойств осуществляющей ее оперирующей системы, такая же зависимость имеет место при решении вопроса о том, является ли некоторое рассматриваемое предписание алгоритмом (равно как и о том, является ли оно квазиалгоритмом).

Примерами квазиалгоритмов (для лиц, в достаточной мере знакомых с соответствующим математическим материалом) могут служить так называемые обучающие алгоритмы, разработанные С. И. Шапиро. Приведем фрагмент одного из них.

«1. Взять произвольное сколь угодно малое положительное число ($\varepsilon > 0$).

2. Составить разность между общим членом последовательности и предполагаемым пределом ($a_n - a$).

3. По возможности упростить разность.

4. Взять абсолютное значение разности ($|a_n - a|$).

5. Допустить, что $|a_n - a|$ меньше ε .

6. Если можно, решить полученное неравенство относительно n .

7. В противном случае «усилить» неравенство, чтобы оно стало разрешимым относительно n ...».

Чтобы убедиться в том, что это предписание нельзя считать алгоритмом (в принятом нами смысле), достаточно обратить внимание на возможность (хоть и мало вероятную для указанного контингента лиц) ошибочного выполнения операций 3, 6 и 7.

1.2. Типы и признаки задач

1.2.1. Некоторые типы задач

Мы уже указывали на то, что разнообразие задач и трудностей при их решении чрезвычайно велико. Известны стандартные задачи восстановления информации, которые могут быть решены путем поиска в хорошо организованных информационных структурах внутри или вне системы, решающей задачу. Если стандартный поиск не приводит к цели, решающая задачу система может обратиться к более

сложным действиям, скажем, путем использования косвенных отношений между элементами, совдания новых отношений и т. д. Еще более сложными являются плохо определенные творческие задачи, требующие предельного напряжения способностей, изобретательности и настойчивости человека.

Мы более подробно остановимся на некоторых задачах из этого многообразия. Мы не претендуем на построение строгой общей схемы классификации задач. Такая классифицирующая схема создавала бы, кроме всего прочего, возможность общей классификации идей, поскольку любую идею можно превратить в задачу, просто поставив требование получить что-то, что является частным случаем данной идеи. И все же даже грубое и неформальное исследование некоторых существенно различающихся типов задач будет полезно в ряде отношений. Оно даст нам практический опыт в использовании данного выше определения задачи, а также предоставит возможность оценить его применимость на целом спектре различных и специфичных примеров. Такой подход позволит также выявить характер различий между задачами. Появилось несколько интересных вариантов анализа структуры задач в конкретных экспериментальных ситуациях, например работа Макуинни по анализу экспериментов с коммуникационной сетью. В то же время до сих пор еще мало сделано в области *общего* анализа размерностей структуры задач, несмотря на явные преимущества, которые мог бы дать такой анализ. Когда мы изучаем поведение крыс, решающих задачу в лабиринте, нам необходима информация о лабиринте, из которого они пытаются выбраться. Если мы ничего не знаем о числе и расположении путей в лабиринте или о местах, где крыса получает указания или подкрепления, то нельзя ожидать, что мы поймем, от чего зависит поведение крысы, каковы бы ни были ее успехи при решении задачи. Подобно этому, если мы пытаемся понять, как люди решают задачу какого-либо вида, нам необходимо иметь хорошее представление о структуре решаемой ими задачи. И это верно независимо от того, заинтересованы ли мы в создании моделей для имитирования их действий, или намереваемся поставить эксперименты для выяснения условий, от которых зависят конкретные особенности их поведения при решении задач. Заметим также, что определенная типология задач может иметь важное *практическое* значение для человека, который при решении задачи мог бы организовать свою работу, опираясь на эти сведения. Возможно, что у него имеются собственные пути характеризования задач, пути абстрагирования, позволяющие ему переходить от реальных задач к этим идеальным типам, и, что важнее всего, — собственные методы решения задач, группирующихся вокруг этих идеальных типов.

Ньюэлл и Саймон сообщают, например, что в их экспериментах не прошедшие специальной подготовки испытуемые использовали очень небольшой набор общих типов при доказательстве простых теорем символической логики. Если действия решающего задачу определяются типом задачи, на который он настраивается при обдумывании решения, то знание такой типологии необходимо каждому, кто интересуется тем, как некоторый индивидуум решает задачи. Итак, с одной стороны, у нас нет надежды установить достаточно строгую типологию задач, чтобы ее можно было использовать в качестве теоретического инструмента, потому что существует бесконечное пространство вариаций задач и у нас нет способа решения *arguot*, какой источник вариаций окажется существенным при решении данной задачи. С другой стороны, исследование различных типов задач было бы весьма полезным орудием при изучении мышления человека. Эти идеи являются обобщением предварительной модели, описанной в работе Ройтмана. В этой работе не раскрывалась связь между описанием задач и другими познавательными конструкциями. Кроме того, она ограничивалась рассмотрением задач, состоящих из трех компонентов: начальные состояния, конечные состояния и операция или процесс, преобразующие начальное состояние в конечное. (Понятие *вектора* задачи, использованное в этом обсуждении, является особым случаем понятия описания задачи.) В данной работе мы теперь установим отношение описаний задач с другими познавательными элементами. Более того, хотя мы в основном сосредоточиваем свое внимание на трехкомпонентных задачах типа рассмотренных в предыдущей работе и хотя многие задачи могут быть легко переформулированы в соответствии с этой схемой, ограничение числа или вида компонентов задачи уже не требуется. Иными словами, даваемое здесь толкование является совершенно общим и применимо к задачам любого рода.

Начнем с примеров из широкой области задач, включающей *преобразование* или *создание* состояний, объектов или наборов объектов. Наши примеры не охватывают всю эту область, но они предлагают некоторую основу для типизации существующих здесь задач. Предположим сначала, что испытуемому задана классическая задача превращения свиного уха в шелковый кошелек. (Эта задача носит полушуточный характер и связана с известной английской поговоркой «You cannot make a silk purse out of a sow's ear» («Нельзя сделать шелковый кошелек из свиного уха»). Поводом для рассмотрения этой «задачи» послужила промелькнувшая в печати заметка, что для демонстрации могущества современной химии в опровержение указанной поговорки был изготовлен кошелек из

искусственного шетка, исходным сырьем для которого послужили свиные уши.). Что можно сказать об этой и подобных задачах?

С точки зрения здравого смысла как начальное, так и конечное состояния достаточно хорошо определены в том смысле, что «шелковый кошелек» и «свиное ухо» указывают недвусмысленные классы реально существующих объектов. Более того, если дано, что имеется свиное ухо, эта задача в значительной степени сводится к задаче отыскания последовательности операций над этим ухом, превращающих его в шелковый кошелек. Познавательный элемент, функционирующий как описание задачи и критерий ее решения, может быть задан выражением (1).

Описание—: содержит, подпись 1.

Подпись 1: подпись 2, подпись 3, подпись 4.

Подпись 2 —: есть, начальное состояние; содержит, подпись 5.

Подпись 3 —: есть, конечное состояние; содержит, подпись 6.

Подпись 4 —: есть, процесс; вход, подпись 5; выход, подпись 6.

Подпись 5 —: есть, свиное ухо.

Подпись 6 —: есть, шелковый кошелек. (1)

Подписи 2—4 представляют три компонента описания задачи.

Отметим, что (1) фактически может быть прочитано и как *правило*, определяющее *множество* всех таких трехкомпонентных элементов, в которых первый компонент образует начальное состояние, содержащее свиное ухо, второй — конечное состояние, содержащее шелковый кошелек, а третий является процессом, преобразующим свиное ухо (начальное состояние) в шелковый кошелек (конечное состояние).

Если испытуемый имеет в своей познавательной структуре элемент, удовлетворяющий этому правилу, т. е. содержащий три подэлемента, связанных через отношения восприятия и реакции с объектами и процессом в окружающей среде, удовлетворяющими описанию каждого из трех подкомпонентов, то этот элемент является *решением* задачи.

Отметим также, что каждый *подпись* тоже является описанием или правилом, определяющим множество внутри или вне контекста. Если контекст, устанавливаемый выражением (1), игнорируется, то, например, подпись 2 определяет множество всех начальных состояний, содержащих свиное ухо, подпись 5 — множество, тождественное множеству всех свиных ушей, и т. д. Если мы примем во внимание контекст, определяемый выражением (1), то содержанием подписки 5 будет множество всех элементов, таких, что каждый из них является свиным ухом, которое из этого начального состояния

может быть преобразовано в шелковый кошелек, являющийся содержанием конечного состояния.

Используя символ (1) для обозначения познавательного элемента, соответствующего примеру (1), мы можем представить познавательный элемент, соответствующий задаче, цели или заданию, следующим выражением:

Описание —: есть, задача; описание задачи, (1) (2)

С другой стороны, наличие задачи может для некоторых субъектов предполагать существование познавательного элемента примерно такого вида:

Описание —: получить, (1). (3)

В этом случае *получить* (get) означает просто указание на то, что некоторое условие задачи ассоциируется с выражением (1) — описанием задачи. Познавательные или семантические элементы, ассоциируемые со словами вроде «найти», «создать», «добиться», «написать», «сделать» и т. д., выявляют и смысл слова «получить». Все такие слова-предписания указывают на существование некоторого условия задачи, некоторой цели или задания, которые должны быть выполнены. Различия в этих словах относятся к различию в методах, которые предположительно должны применяться для получения результатов. Для ясности мы можем представлять себе любое такое слово содержащим чистое предписание («получить») вместе с указанием типов методов или действий, которые, вероятно, должны применяться: отыскание, написание, создание и т. д.

Какова связь между выражениями (2) и (3)? Оба они служат моделями или гипотезами того, как могут быть представлены задачи в познавательной структуре индивидуумов. Как мы уже отмечали ранее при обсуждении представления переменной «страны» в опыте Интема и Мюзера с помощью простого списка, мы обычно не знаем сколько-нибудь точно, как какой-либо конкретный познавательный элемент воплощается в памяти данного человека в некоторый момент времени. Все наши представления являются приближениями. Но для наших целей два выражения (2) и (3) являются эквивалентными приближениями к представлению задач как познавательных элементов. И то и другое может быть использовано для представления существования элемента задачи в познавательной структуре какого-то индивидуума. Сказать, что мы рассматриваем их как приблизительные эквиваленты, равноценно предположению, что большинство людей обычно будут толковать выражения «получить *x*» и «ваша задача состоит в том, чтобы получить *x*» как взаимозаменяемые формулировки одной и той же идеи. Аналогично при программировании системы искусственного интеллекта для

обработки задач, определенных на основании излагаемой здесь теоретической схемы, будет нетрудно придать системе способность трактовать любое альтернативное представление задачи как эквивалентное и взаимозаменяемое в указанном смысле.

В этом месте целесообразно ввести небольшое обобщение нашей системы обозначений. Мы использовали выражения типа (1) и т. д. для представления самых различных вещей: *гипотез* относительно некоторого познавательного элемента; самих *познавательных элементов* (поскольку мы приняли гипотезу о их существовании) и *информационных структур*, которые мы можем поместить в память вычислительной машины (искусственного интеллекта) для последующего использования их в модели, имитирующей некоторый аспект познания и мышления.

При обсуждении способа представления познавательных структур было удобным считать, что каждая такая структура имеет некоторое *наименование*, например «переменная страны». Кроме того, при написании действительных списковых структур в языке высокого уровня мы обозначаем каждую структуру некоторым символом, т. е. по существу придаем этой структуре наименование. Но нет никаких оснований считать, что информация наименования, связываемая с данным познавательным элементом, будет связана с ним иначе, чем любая другая информация. Более того, большинство элементов восприятия и многие познавательные элементы, соответствующие, например, задачам, описаниям задач, информации о прошлых экспериментах и т. д., вероятно, вовсе не обязательно должны иметь наименования в обычном смысле слова. В частности, нет оснований предполагать, что они должны отыскиваться и извлекаться из памяти обязательно по своим наименованиям, а не каким-либо другим способом, например непосредственно по их признакам и значениям. Поэтому мы в дальнейшем вообще будем опускать член или выражение, которые мы до сих пор писали перед знаком «—:». В тех случаях, когда познавательный элемент x связан с некоторым другим элементом y , который мы хотим считать наименованием x , мы будем обозначать это, связывая с выражением, представляющим элемент x , пару (наименование, y). В других случаях мы при ссылке на некоторый гипотетический познавательный элемент или соответствующую информационную структуру, хранящуюся в памяти какой-то вычислительной машины, будем просто использовать индекс в скобках, например (1), обозначающий соответствующее выражение на странице этой книги.

Второй тип задач можно проиллюстрировать ситуацией, описанной Гордоном. Хотя эта ситуация также содержит три компонента, она

отличается от рассмотренной задачи «шелковый кошелек — свиное ухо» в двух важных отношениях. В этой ситуации требуется изобрести «раздаточное устройство [например, для клея или лака для ногтей], которое можно было бы использовать с различными веществами. Это устройство должно состоять из одного предмета, не считая крышки, которую можно было бы удалять или заменять. Горлышко... должно было быть сконструировано так, чтобы оно открывалось для выдачи и вновь плотно закрывалось после использования».

В этом случае, поскольку устройство еще только должно быть изобретено, его окончательный вид также не уточняется. Что же касается начального состояния, то оно полностью предоставлено на наше усмотрение. Не сказано ничего о состоянии или предмете, с которого мы должны начать работу. Требование «сочинить фугу» или «сконструировать самоходное средство передвижения» ставит формально аналогичные задачи. Во всех этих случаях, если задача выражена в явной форме, от нас требуется, чтобы мы начали с чего-то неопределенного и превратили его (т. е. создали, изобрели или открыли) в конечный объект или состояние, которые сами определены только по отношению к некоторым очень общим требованиям или условиям, коим они должны удовлетворять.

Интересно, что большое количество разнообразных загадок и головоломок относится именно к этому классу задач. Маленькие дети, например, в восторге от задач вроде: «What has eight legs, three heads, and two wings?» («У кого восемь ног, три головы и два крыла?»), «What is black and white and red all over?» («Что черное и белое и красное повсюду?»), или: «Что черное и белое и читается повсюду?»).

(Ответы: всадник на коне, держащий в руках цыпленка; газета).

Формально эти примеры можно считать образованными путем соединения нескольких компонентов и выбора некоторого сочетания признаков этих компонентов в качестве описания задачи.

Задача с газетой более сложна в том отношении, что в ней использован фактор контекста для воздействия на восприятие решающего элемента в определении задачи. Здесь как грамматический, так и семантический контекст способствуют тому, что звукосочетание *red* ассоциируется с наименованием цвета, а не с формой глагола «читать» (*to read*).

Не только дети получают удовольствие при решении задач такого сорта. Осгуд дает несколько примеров зрительных задач того же рода. Мы воспроизводим одну из них на рис. 1.

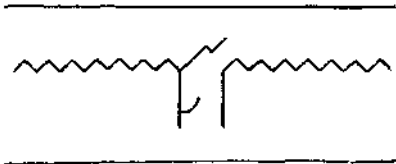


Рис. 1. Зрительная головоломка приведенная Осгудом .

Линии определяют описание задачи: нас просят найти некоторый набор взаимосвязанных объектов, которые создают этот комплексный рисунок. Зрительные головоломки такого рода описаны Р. Прайсом. Другой пример головоломок для взрослых в этом же классе задач — это увлекательная игра, в которой решениями являются сочетания из двух слов, которые должны удовлетворять ограничениям двух сортов. Первое определяет число слогов в каждом слове, а второе касается их содержания. Например, предлагается подобрать два двухсложных слова, которые означают «несчастную сварливую женщину». Один из ответов может гласить: «синий чулок». Кстати, рисунок Осгуда озаглавлен «Солдат и его собака, проходящие мимо пролома в заборе».

Третий вид задач может быть проиллюстрирован на примере одной истории о Наполеоне. Существует кулинарная легенда, согласно которой Наполеон хотел отменить свою победу над Австрией в битве при Маренго хорошим обедом. Однако у его повара из-за трудностей военного времени не оказалось ничего под рукой, кроме цыпленка, нескольких луковиц, шампиньонов, помидоров и вина. Тем не менее с типично французской изобретательностью (так утверждает эта история) он соорудил из этих продуктов блюдо, достойное императора (цыпленок Маренго).

Гораздо более документированное описание задачи, в формальном смысле весьма сходной с предыдущей, касается создания романа Достоевского «Преступление и наказание». Роман был начат в виде двух совершенно независимых историй: в одной рассказывалось о пагубном влиянии пьянства, в другой давался психологический портрет молодого человека, который совершает убийство, действуя на основе некоторых неприемлемых и «полуосознанных» моральных идей.

Характерные черты этого класса проблемных ситуаций заключаются в том, что начальное состояние содержит одну или более составляющих, каждая из которых сама по себе представляет собой конкретную эмпирическую реальность, в то время как конечное состоянием

определено расплывчато, как состояние, в котором одна или более составляющих начального состояния потеряли свою независимую определенность.

Одна из иллюстраций нашего второго типа задач состояла в конструировании «самоходного транспортного средства». Связанная с этим задача могла бы быть сформулирована так: «Взять транспортное средство и источник энергии и соединить, или «связать», их таким образом, чтобы в результате этого соединения получилось транспортное средство, которое движет самое себя».

Эти две задачи отличаются одна от другой тем, в какой степени определена их структура в начальном и конечном состояниях. В первой задаче начальное и конечное состояния никак не заданы, за исключением общего условия, что конечное состояние содержит объект, который функционирует так, чтобы транспортное средство двигалось само. Во второй же задаче начальное и конечное состояния могут быть представлены как содержащие некоторые компоненты: первое — «транспортное средство» и «источник энергии», а второе — эти же два плюс третий компонент — член «связи» или взаимодействия типа тех, которые мы обсуждали ранее.

В качестве другого примера возьмем задачу конструирования водопроводной системы, которая начинается трубой в точке X с заданными внешним диаметром и нарезкой и соединяется в точке Y с трубой, имеющей также заданные внешний диаметр и нарезку. Здесь снова единственное различие между начальным и конечным состояниями заключается в том, что последнее содержит некую «подсоставляющую связи» — нечто перекрывающее разрыв или сглаживающее различие.

Основная особенность, отличающая задачу создания самоходного транспортного средства от варианта задачи с транспортным средством, источником энергии и связью между ними, заключается в том, что во второй задаче факторизация на подсоставляющие создает дополнительные структуру и ограничения, в пределах которых должно протекать дальнейшее решение задачи. Этим ограничивается пространство задачи. Некоторые пути исследования оказываются гораздо более вероятными, в то время как другие фактически исключаются. Даже если «транспортное средство» и «источник энергии» никак более не уточняются во второй задаче, они действуют подобно леммам: они служат ступенями в направлении решения, и маловероятно, что решающий задачу будет исследовать возможности решения, которые не включают этих шагов.

В первой из этих задач решающий задачу может исследовать прямые аналогии, как это делалось в случае Гордона при попытках решить

задачу раздаточного устройства. Другими словами, решатель задачи смог бы заинтересоваться возможностями лошади в качестве модели для транспортного средства, которое само себя движет. Такой подход покажется, однако, гораздо менее вероятным при задании структурных ограничений во втором варианте задачи.

Здесь сделаем несколько более общих замечаний, касающихся представления и использования компонентов взаимодействия при описании задач. В примере с транспортным средством, источником энергии и связью гипотетический познавательный элемент, служащий в качестве описания задачи, может быть представлен выражением (4):
—: есть, описание задачи; имеет, подпоспик 1.

Подпоспик 1: подпоспик 2, подпоспик 3, подпоспик 4.

Подпоспик 2 —: есть, транспортное средство.

Подпоспик 3 —: есть, источник энергии.

Подпоспик 4 —: есть, компонент взаимодействия;
передает, энергию; от, подпоспик 3;
к, подпоспик 2. (4)

Имеется несколько способов удовлетворить ограничению взаимодействия. Если компоненты, которые оно связывает, *видоизменяемы*, должно быть возможным изменить один из них или оба, специализировав их или добавив дополнительные подсоставляющие специально для взаимодействия. Именно для этой цели у государств имеются министерства иностранных дел, а у деловых фирм — отделы продажи и сбыта, служащие специализированным целям осуществления взаимодействия с другими компонентами в более крупной системе. В этих случаях компонент взаимодействия может быть поглощен одним или обоими другими компонентами. На деле некоторые организации могут заниматься преимущественно предотвращением формирования некоторых связей, таких, как неформальные организационные взаимодействия, описанные Дальтоном. Многие функции контроля и управления требуют перемещения людей только по этим причинам. С другой стороны, если связываемые компоненты не видоизменяемы, как, например, две трубы в рассмотренной выше задаче, то связующий компонент должен примирить все расхождения.

Заметим также, что независимо от того, специализированы ли функции связи в особом компоненте взаимодействия или отнесены к специализированным субструктурам в других главных компонентах, сама функция связи обычно имеет тенденцию быть локализованной, (физически, во времени или функционально). В примере соединения труб даны только концы труб. В примере с транспортным средством, источником энергии и их соединением аналогично дан лишь

ограниченный ряд точек физического и функционального касания. Только позднее рассматриваются более отдаленные последствия. Эта тенденция наблюдается во всем, начиная от интеграции многонациональных государств и кончая интеграцией безлошадной повозки в модель автомобиля или рассмотрением выводов из недавно полученных данных об отношениях между познавательными элементами в терапии. Есть и исключения из этой тенденции, которые могут показаться неожиданными, так как способность к переработке информации как в естественных, так и в искусственных системах ограничена и только определенный объем манипуляций с символами может быть осуществлен в ограниченный отрезок времени. Другой вид задач, с которыми мы часто сталкиваемся, иллюстрируется примером из работы Дилла, Хилтона и Рейтмана. Электронная фирма «Райс» решила переконструировать свое устройство «Rice Stereo Center» (сочетание усилителя, предусилителя и приемника с амплитудно-частотной модуляцией). Это дало бы компании возможность понизить цену на устройство, сравнив ее с ценой аналогичного прибора, недавно выпущенного конкурирующей фирмой. Работа должна была быть выполнена, однако, без радикальных переделок, поскольку стоимость таких переделок не могла быть оправдана при учете потенциального рынка сбыта на эту продукцию. Кроме того, работа должна была быть выполнена быстро, так как продукция конкурента *к этому времени* уже поступила в продажу, ежедневно отнимая покупателей у продукции фирмы «Райс».

В таких задачах начальное состояние задано путем ссылки на хорошо определенный объект, а конечное состояние — комбинацией утверждений о сходстве и различии по отношению к начальному объекту или состоянию. Переделанное устройство должно быть функционально подобно старому варианту, но дешевле его на некоторую определенную сумму.

Переделка безлошадного экипажа таким образом, чтобы он вез дальше за меньшую цену, дольше служил, лучше выглядел и производил меньше шума, рационализация водопроводной системы так, чтобы уменьшить сложность соединений или число используемых труб; переделка научного доклада для того, чтобы сделать его более понятным для аудитории или сократить его объем на 40% по требованию журнала, — все это примеры формально подобных задач. Отметим еще, что задача переделки аппарата «Rice Stereo Center» также иллюстрирует требования, предъявляемые к компоненту процесса: последовательность шагов, выводящих конечное состояние

из начального, должна быть осуществлена без внесения радикальных изменений и за короткое время.

Мы заключим наш обзор таких же трехкомпонентных задач примером задачи более сложного типа.

Рассмотрим, с одной стороны, ученого, который хочет дать объяснение странному явлению, которое он только что наблюдал, а с другой стороны, вора, который ищет себе алиби, чтобы доказать свою непричастность к событиям, приведшим к его аресту. Как бы они ни отличались во всем остальном, оба сходны в том отношении, что перед ними стоят задачи, для которых характерно то, что они включают достаточно хорошо определенные *конечные* состояния и по существу бессодержательные. *начальные* состояния и процессы. Кроме того, и это является наиболее важным, как несчастливый опыт вора, так и наблюдаемое ученым превращение как конечные объекты представимы в виде трехкомпонентных элементов. Таковы же и предшествующие объекты, обоснование которым они оба и хотят придумать. Мы приводим здесь эти два примера, чтобы показать области задач, открываемые благодаря таким более сложным истолкованиям начальных и конечных компонентов.

Как мы уже говорили, не существует ограничений в отношении количества и типов различных задач, которые мы могли бы определить. Приведенные примеры дают некоторые указания относительно различий, которые могут проводиться среди классов задач на основании строго формальных характеристик. Эти различия могут оказаться функционально важными для решателя задач. Тот факт, что мы смогли провести различие, свидетельствует о том, что основное определение задачи, которое мы используем, хотя оно и носит совершенно общий характер, не приводит к утрате каких-либо деталей, отличающих одну задачу от другой.

1.2.2. Признаки как ограничения задач

Важным методом выявления различий в структуре задач является определение характеристик признаков, по отношению к которым и определена сама задача. Рассмотрим, например, описание человека, по имени Джон:

—: имя, Джон; есть, подписание 1.

Подписание 1: заслуживает доверия, лояльный,
услужливый, дружелюбный . . . (5)

Что может означать характеристика «заслуживает доверия» для некоторого индивидуума, получающего такое описание Джона?

Возможно, что она включает некоторую информацию того вида, который представлен выражением (6):

—: входная форма, заслуживает доверия; есть, свойство;
изменяется с, подписание 1; ...

Подписание 1: ситуация, время, обстоятельства ... (6)

Эта информация, хранимая вместе с признаками, и позволяет нам успешно манипулировать ими в мышлении. Таким образом, особенно те свойства признаков, на основании которых определяется задача, сами являются *ограничениями, накладываемыми на решение задачи*. Рассмотрим некоторые характеристики признаков, которые, как мы предполагаем, должны влиять на стратегии решения задач.

Постоянные

Под признаковой (или атрибутивной) постоянной мы понимаем любой символ, который именуется некоторый неизменный объект в информационной системе. Например, в одном отрывке из протокола композитора, есть восемь ссылок на «тему»; в некоторых из них «тема» является членом описания еще чего-то; этот термин, например, используется как член отвергнутой возможности, характеризующейся как «повторение самой темы». «Тема» — постоянная в указанном выше смысле. Она именуется неизменной последовательностью нот в партитуре композитора. Конечно, неизменный объект не обязательно должен быть зафиксирован на бумаге; он может быть зафиксирован и в памяти решающего задачу, подобно тому как многие из нас имеют некий неизменный объект в голове, который может быть воспроизведен в ответ на слова: «четырёхнотный мотив, которым начинается пятая симфония Бетховена», или «четыре ноты, служившие позывными Лондона во время войны».

Переменные

Признаковая переменная именуется множеством альтернатив. Например, в языках для вычислительной машины, можно задать некоторое наименование ячейке, скажем *a*, и ссылаться в общем виде на «содержимое *a*». Ячейка *a* может в разные моменты времени содержать различные символы: таким образом, *a* — переменная. Так, композитор ссылается на «интерес», связанный с различным музыкальным материалом, который он создает. По отношению к нему «интерес» музыкальных объектов является переменной, которая может принимать различные значения.

Открытые признаки

К ограничивающим характеристикам, представляющим наибольший интерес, относятся те, которые можно назвать «открытыми». Мы применяем слово «открытый» к признаку, если его определение включает один или более параметров, значения которых остались незадаанными в момент, когда задача для решения дается системе извне или передается через систему в течение некоторого времени.

Рассмотрим снова такие задачи, как «сочинить фугу», «изобрести самоходное транспортное средство» или даже «открыть способ превращения неблагородных металлов в золото». Что именно имеется в виду под словами «фуга» или «транспортное средство»? Насколько большой должна быть фуга? Все ли фуги должны каким-то заданным набором признаков согласоваться с некоторой канонической фугой? Или, в виде другой крайности, является ли «фуга» чем-то, что тем или иным путем напоминает что-то другое, что решающий задачу избрал в качестве образа фуги?

Открытые ограничения встречаются повсюду. Специалист по исследованию операций в крупной фирме, вероятно, часто обнаруживает, что он сам является объектом (возможно, здесь уместнее сказать «мишенью») для указаний со стороны более высокого начальства, требующего от него таких вещей, как изобретение системы контроля, которая *исключала* бы истощение запасов, или создание производственных графиков, которые гарантировали бы поставку товаров в срок, и т. д. Если он не может это выполнить, он делает наилучшее из возможного и преобразует такую (плохо определенную) задачу в хорошо определенную форму благодаря быстрому «закрытию» всех открытых ограничений. Означает ли слово «исключить», что проектировщик системы должен гарантировать, чтобы истощение запасов *никогда* не наступило независимо от конкретных обстоятельств и оттого, во что это обойдется? Очевидно, что нет. Поэтому добавляются другие условия, например путем указания цен или задания уровня выпуска продукции, который система не должна превышать чаще, чем в некотором установленном проценте случаев, и задача приводится к некоторой стандартной хорошо определенной форме, включающей максимизацию или минимизацию определенных величин точно определенными методами.

Но хотя открытые ограничения сами должны быть в первую очередь «исключены», если мы хотим иметь дело только с хорошо определенными задачами, они, очевидно, могут некоторое время сохраняться в плохо определенных задачах. В качестве примеров укажем, что композитор, сочиняющий фугу, говорит о «чем-то вроде

синкопы), «ритмической идее», «чем-то более мелодичным» и «более сложной ритмической канве», и он явно оставляет открытым вопрос о том, как будет использован тот контрматериал, который он стремится создать, — он станет «либо противопоставлением исходной теме, либо просто хорошим контрапунктом».

На деле открытые ограничения характерны для всей последовательности преобразований задачи, приводящей в конечном счете к решению исходной задачи композитора. Действительно, в нашем протоколе предполагается, что часто как раз открытый характер определенных ограничений и делает возможным решение задачи. Эти ограничения придают определениям гибкость. Они позволяют решающему задачу придавать задаче новое направление, но не путем отмены прежних или новых ограничений (хотя он, разумеется, вправе поступить и так), а путем регулирования тех параметров ограничения, которые открыты для него.

Отметим, что обычно признак имеет некоторое разнообразие связанных с ним характеристик. Например, постоянные и переменные признаки могут быть также, открытыми. Это следует из того, что хотя тесты на тождественность можно безусловно считать основными в формальной системе, эмпирические задачи будут часто налагать ограничения на некоторые члены, требующие, чтобы они были тождественны (или подобны) конкретным постоянным объектам или членам, без того, чтобы был точно задан операционный критерий тождественности (или подобия). Однако не существует двух реальных объектов, которые были бы неразличимы при всех мыслимых тестах. Поэтому указания такого рода содержат элемент произвола, поскольку они оставляют неуточненным конкретное подмножество множества всех мыслимых тестов, которые должны быть проведены для того, чтобы определить, удовлетворяется ли данное ограничение. Именно в этом смысле даже постоянные и переменные могут содержать параметры, остающиеся открытыми на усмотрение решающего задачу.

Структурные признаки

При обсуждении задач, сходных по структуре с примером «транспортное средство, источник энергии и связь», отмечалось, что отдельные признаки выражены в неявной или синтаксической форме; такие признаки нигде в явном виде не формулируются; вместо этого задается способ, которым некоторый компонент разбивается на подкомпоненты, т. е. при представлении в каком-либо списковом языке, указанием «списково-топологического» отношения одного

подкомпонента к другому, когда оба они входят в структуру этого компонента. Очевидно, что такие структурные отношения между подкомпонентами служат главным источником того, что обычно подразумевается, когда говорят об *организационных* признаках компонента и *контекстуальных* ограничениях подкомпонента. Например, композитор в течение некоторого времени может пытаться развить подкомпонент только по отношению к явно выраженным признакам, связанным только с этим подкомпонентом. При этом он фактически предполагает, что эти ограничения отделимы от других, связывающих подкомпоненты друг с другом в данной структуре. В какой-то момент он буквально извлекает подкомпонент *из контекста*. Можно ожидать, что такие неявные организационные и контекстуальные аспекты компонентов задачи становятся все более существенными по мере усложнения структуры компонента задачи. Интересно также отметить что существуют системы, решающие задачи (например, «Логик-теоретик» Ньюэлла, Шоу и Саймона), которые выносят главные решения непосредственно на языке структурных характеристик рассматриваемой задачи.

Метапризнаки

Некоторые признаки задачи фактически включают в свою среду и другие классы признаков, например для того, чтобы указать распределение усилий при решении задачи. Простой пример этому дает задание очередности действий. Чтобы привести конкретный пример, укажем на случай, когда композитор в соответствии с простым правилом расправляется с нежелательными повторениями нот или интервалов в своей фуге. Когда одна или более таких нот встречаются в главных фразах тематического материала, они приобретают старшинство и изменению подвергается уже другая нота или ноты.

Признаки аналогий

Некоторые признаки задаются дважды: как *объект* и как *отношение* между этим объектом и описываемым компонентом или подкомпонентом. Например, композитор констатирует, что некоторый материал должен быть «отличным от темы», а также обладать «соответствием в напряженности соотношений интервалов» применительно к теме. Отметим, что поскольку слово «отличный» никак не уточняется, оно, подобно словам «тождественный» или «сходный», является открытым, так что полный

аналогичный признак «отличный от исходной темы» также является открытым.

Аналогичные признаки интересны и важны в нескольких отношениях. Во-первых, они могут разрастаться до весьма сложных структур, которые можно описать только длинными предложениями. Такое объединение отражает сходство между аспектами познавательной структуры и выражающими ее лингвистическими структурами. Во-вторых, по-видимому, все описания аналогий включают такие признаки. Так, в журнале союза потребителей Consumer Reports моечный механизм автомата для мытья посуды характеризуется как «оригинальный быстро вращающийся цилиндр, забирающий воду и разбрызгивающий ее таким же способом, как это делает автомобильная шина на мокром шоссе». Заметьте, что здесь имеется ссылка на признак *процесса*. Такие выражения, как «таким же способом», по сути являются заменителями более общего слова «подобно»; все такие выражения устанавливают открытое отношение между описываемым и описываемым объектами. На число таких признаков или размеры описания в каждом случае накладывается не большее ограничение, чем то, которое наложено на число различных английских предложений, которые могут быть составлены.

Отметим также, что хотя моечный механизм описан при помощи аналогии с привычным и многократно встречавшимся зрительным образом, нет необходимости в том, чтобы все описания по аналогии использовали столь же привычные ассоциации. Здесь при помощи лингвистического опыта производится сравнение с очевидным и чрезвычайно важным континуумом. Как и во втором случае, мы здесь прибегаем к общепонятной системе символов и восприятий, являющихся общим достоянием всех людей данной языковой группы, т.е. к словам и данным опыта, которые можно использовать, скажем, в воскресной телевизионной программе. Гораздо менее широко понятны субдиалекты и субдиалектный опыт различных социальных, экономических и профессиональных слоев, на которые может быть разделена национальная аудитория. Еще менее широко понятными являются специальные словарные запасы довольно обособленных жаргонов, отражающие опыт небольших замкнутых групп, например отдельных семей. Но хотя интересы лингвиста на этом, возможно, и кончаются, у нас к этому нет причин, ибо есть все основания предполагать, что в решении задач индивидуумы используют полный запас своего личного опыта независимо от того, может ли он быть выражен словами и легко ли его передать другим.

1.2.3. Плохо определенные задачи

В своем аналитическом исследовании «На пути к созданию искусственного разума» Минский в самом начале отмечает, что его обсуждение применимо только к решению таких задач, которые *хорошо определены* (well-defined). «Под этим, — поясняет он, — мы понимаем, что для каждой задачи в нашем распоряжении имеется какой-то систематический метод, позволяющий определить, когда приемлемо предложенное решение»

Небольшое размышление приводит к выводу, что большинство работ, посвященных решению задач, действительно имело дело лишь с такого рода задачами. Это относилось к системам формальных методов решения задач, например к линейному программированию и к исследованиям процессов решения задач человеком.

Поэтому интересно отметить, что, пожалуй, больше всего усилий человек посвящает задачам (если это слово здесь применимо), которые явно не удовлетворяют критерию Минского. Рассмотрим, например, что имеется в виду, когда от вас требуют выполнить курсовую работу. Мы принимаемся за такие задачи, не имея ничего хотя бы отдаленно похожего на формулировку необходимых и достаточных условий для их решения.

Что же мы можем сказать о таких *плохо определенных* (ill defined) задачах? Каковы их общие характеристики и какого рода суждения и заключения мы должны привести, чтобы решить их?. И действительно, есть ли вообще смысл говорить, что такие задачи имеют решение?

У нас нет систематических основ для того, чтобы работать с плохо определенными задачами примерно таким же образом, как это стало возможным по отношению к некоторым видам хорошо определенных задач благодаря имеющимся в настоящее время формализмам. При организации работы, при анализе и сообщении результатов конкретных задач нам приходится постоянно обращаться к частным схемам, применимым лишь к данному случаю.

Нам крайне необходима общая схема, общая «система отсчета», которая позволила бы нам определять функционально важные подобию в нашей собственной работе над плохо определенными задачами и дала бы нам возможность рассматривать на более общей основе те виды суждений и процессов принятия решений, которые связаны с решением таких задач. Последующее рассмотрение может оказаться полезным как шаг в этом направлении. Оно открывает пути для четкого и объективного исследования плохо определенных задач в единой схеме с хорошо определенными задачами, что позволяет нам четко выяснить их сходство и различия. Хотя может показаться

странным трактовать плохо определенные задачи на манер хорошо определенных, в действительности здесь нет противоречия. Не делать этого — просто означает смешивать неопределенность, внутренне присущую самому предмету исследования, с совершенно не неизбежной теоретической неопределенностью его анализа.

Чтобы создать отправную точку для дальнейшего обсуждения, рассмотрим, в чем заключается типичная хорошо определенная задача — нахождение доказательства теоремы в элементарном исчислении высказываний. Хотя эта задача похожа на первый тип задач, рассмотренных нами выше, она все же отличается в ряде отношений от ее прототипа — задачи «шелковый кошелек — свиное ухо», в которой некоторые детали предоставлены на усмотрение решающего задачу: не указаны размеры кошелька и уха; не ясно, может ли последовательность преобразований включать операции, которые добавляют количество материала и т. д. В отличие от этого и начальный и конечный компоненты в исчислении высказываний заданы совершенно определенно. Более того, когда решатель задачи работает над компонентом процесса, он с самого начала ограничен множеством хорошо определенных операторов. Чтобы удовлетворить этим ограничениям, решателю задачи гарантировано, что если он успешно построит процесс преобразования A в B , то утверждение « A преобразуется в B » будет иметь силу для всех членов множества, определяемого данными конкретными A и B .

По сравнению с задачей исчисления высказываний даже относительно прямая задача «шелковый кошелек — «свиное ухо» имеет гораздо большую неопределенность. С одной стороны, решающий задачу может свободно указать какой-либо размер или ряд размеров, которые он хотел бы дать объектам, и выбрать любые операции, какие он пожелает. С другой стороны, у него нет гарантии, что некоторая операция, преобразующая данное свиное ухо в определенный шелковый кошелек, будет также годиться для другого, несколько отличающегося уха или даже для второго уха, кажущегося во всех отношениях тождественным первому.

На первый взгляд может показаться, что приведенное различие между хорошо и плохо определенными задачами — это просто различие между формальным и эмпирическим. Несомненно верно, что только формализованная система может *гарантировать* абсолютное безразличие ко всем, кроме особо оговоренных, источникам отклонений; как мы уже отмечали ранее, даже такая гарантия относится только к самим формализмам, а не к их эмпирическим реализациям. Но, хотя формализованные задачи дают наиболее ясные примеры хорошо определенных задач, тем не менее есть и эмпирические ситуации,

которые являются также хорошо определенными в практическом смысле слова. Рассмотрим, например, типичную детскую головоломку «составные картинки». Обычно у большинства людей не вызывает особых трудностей определение тех актов сопоставления, которое обеспечивает допустимые преобразования, и возникает мало вопросов относительно того, каковы составляющие начального и конечного компонентов. Такие примеры показывают, что открытые ограничения, по крайней мере в некоторых эмпирических задачах, могут быть настолько ослаблены по степени и важности, чтобы можно было считать такие задачи (а не только формальные модели задач) хорошо определенными для всех практических целей.

В общем случае это, однако, не имеет места. Предположим, что ваш работодатель просит вас подыскать ему заслуживающего доверия человека. Как мы уже указывали ранее, «заслуживать доверия» — это свойство, которое может варьировать в зависимости от ряда других характеристик. Насколько большие вариации может допустить ваш работодатель и по отношению к каким свойствам? Чтобы получить больше информации на этот счет, вы можете спросить: «В какой степени заслуживать доверия?» или: «Что вы хотите от него?» Вы можете даже попытаться поставить себя на место работодателя, чтобы вынести суждение о том, какие вариации он может допустить. Но без дальнейшей информации об этих параметрах данного свойства признак «заслуживать доверия» остается открытым, а задача по отношению к данному работодателем описанию является плохо определенной. До некоторой степени почти все повседневные задачи сходны в этом отношении.

В этой связи очень интересна программа Квиллиана, так как его метод кодирования познавательной структуры позволяет ему представлять информацию, описанную с любой степенью неопределенности. Так, он отмечает:

«Именно неопределенный смысл большинства языковых выражений делает возможным их применение; действительно, наша речь стала бы совершенно невозможной, если бы мы, например, должны были точно указывать, какие именно машины мы каждый раз имеем в виду, когда говорим «машина», и аналогично для любого другого выражения, значение которого содержит некоторую двусмысленность» .

Таким образом, перед нами вырисовывается понятие континуума, которое охватывает всю область от хорошо определенных формальных задач до таких плохо определенных задач, как сочинение фуги. Этот континуум тесно связан с понятием двусмысленности, как это, например, видно из обсуждения двусмысленности стимулов в тестах по восприятию образов. Другими словами, в той мере, в какой проблемная

ситуация вызывает среди данной группы решателей задачи согласованное мнение относительно объектов, соответствующих признакам задачи, дозволенных операций и последствий таких операций, эта проблемная ситуация может быть названа недвусмысленной или хорошо определенной по отношению к этой группе. С другой стороны, в той степени, в какой система вызывает разноречивые ответы относительно соответствующих признакам объектов, допустимых операций и их последствий, задача может считаться плохо определенной или двусмысленной по отношению к данной группе. С точки зрения предшествующего обсуждения форм ограничений средоточием и источником этой двусмысленности, несогласия между отдельными лицами и плохой определенности задач являются открытые ограничения. Чтобы выяснить связь между нашим обсуждением плохо определенных задач и определением Минского, достаточно отметить, что в примере с исчислением высказываний точная фиксация начального и конечного компонентов и абсолютное ограничение компонента процесса хорошо определенным множеством операторов дают адекватную основу с закрытыми ограничениями для суждения о том, когда предполагаемое решение является приемлемым. В отношении схемы для рассмотрения задач и ограничений отсюда, как уже говорилось, вытекает, что различие между хорошо и плохо определенными задачами не является простым признаком. Задача может быть в некоторых отношениях хорошо, а в других — плохо определена, в зависимости от характера и распределения открытых ограничений по компонентам и подкомпонентам задачи. Задача написания фуги — хороший пример вначале весьма плохо определенной задачи, которая последовательно преобразуется в задачу, состоящую из информационных структур различной степени определенности.

Пример головоломки с составными картинками не должен истолковываться так, что эмпирические ситуации, как правило, легко сделать хорошо определенными. Гораздо более типична обратная ситуация. Лабораторные задачи являются превосходными примерами ситуаций, в которых обычно чрезвычайно важно минимизировать открытые ограничения и вытекающую отсюда двусмысленность с тем, чтобы исключить неконтролируемые источники вариаций. Даже при использовании тестов на восприятие образов, в которых некоторые ограничения оставляются сознательно открытыми, чтобы выяснить, как данный испытуемый их «закрывает», по-видимому, заранее накладываются некоторые условия на число таких ограничений, чтобы результаты можно было интерпретировать без слишком строгих начальных предположений.

Как отмечает Эдвардс, несмотря на такое значение минимизации открытых ограничений, инструкции в большинстве, казалось бы, хорошо организованных исследований сформулированы двусмысленно. Независимо от того, «закрывает» ли испытуемый эти ограничения на основании своих потребностей и установок или на основе других молчаливых решений, результат тот, что экспериментатору не удастся сохранять ситуацию постоянной для всех испытуемых. В той мере, в какой остаются такие непреднамеренно открытые ограничения, лабораторная задача становится более похожей на задачу сочинения фуги, чем на игру с составными картинками. Эдвардс обсуждает также средства, позволяющие нам исключить какие-то двусмысленности в некоторых экспериментальных ситуациях путем надлежащего переформулирования инструкций. Но тот факт, что такие двусмысленности имеют место в якобы хорошо контролируемых экспериментах, заставляет предположить, что плохая определенность является характерной особенностью реальных ситуаций.

Понятие решения в плохо определенных задачах

До сих пор мы рассматривали лишь отдельного решателя задач и его задачу, изучая их изолированно от других. Интересно рассмотреть, что произойдет, когда некоторый решатель задач представит свое решение другим людям. Одно неизбежное следствие нашего подхода состоит в том, что для плохо определенных задач нет решения, которое могло бы быть одобрено всеми. Любая такая задача уже по самому определению включает открытые ограничения. Если только не предполагается строгий изоморфизм в передаче соответствующих информационных структур от одного индивидуума к другому, то вполне может случиться, что системы таких открытых ограничений, приемлемые для одного индивидуума, будут неприемлемы для другого. Соответственно решения, включающие эти системы, также могут быть неприемлемыми.

Такая двусмысленность в отношении решений задачи недопустима в ряде случаев, связанных с проблемой организации, и необходимы специальные соглашения, чтобы можно было сообщать что-либо об открытых параметрах, и особые средства для решения задач, способные разрешить сомнения о различиях по отношению к этим параметрам. В условиях устойчивой среды мы можем с помощью определенных соглашений относительно приемлемых значений и операциональных определений переменных значительно продвинуться на пути создания хорошо определенного языка для рассмотрения

проблем организации. С другой стороны, в среде, структура которой менее благоприятна для предсказаний, может оказаться неправильным настаивать на сохранении такого рода фиксированных соглашений при длительной работе.

Плохо определенные задачи и эвристические программы

Одной из наиболее трудных проблем, с которыми сталкиваются те, кто занимается эвристическим программированием, является выяснение содержания самого этого понятия. В ранних обсуждениях эвристические программы противопоставлялись алгоритмам и подчеркивался «прикидочный», эмпирический характер правил, используемых в таких программах: считалось, что эвристическая программа использует для решения задач процессы, которые имеют шансы оказаться полезными, но отнюдь не гарантируют успеха. Однако в более поздних обсуждениях слова «эвристическая программа» и «алгоритм» уже не рассматриваются более как антонимы, а вместо этого делается различие между «алгоритмическими свойствами программ — ограничивающими свойствами при возрастании числа вычислений — и... их эвристической силой — их эффективностью в решении задач с приемлемыми вычислительными затратами».

Все эти обсуждения требуют, чтобы мы для практических целей сосредоточились на ограниченном множестве различий. В этом и состоит трудность: поскольку среди множества сложных экспериментальных объектов — программ. — которые мы рассматриваем, может быть проведено множество различий, то неразумно ожидать, чтобы одно какое-либо различие вдруг оказалось в глазах всех наблюдателей наиболее критическим.

Если исходить из разрабатываемого здесь подхода, возникает другая картина, которая может найти ряд важных приложений в искусственном интеллекте в связи с ролью эвристических программ как теорий решения задач искусственным интеллектом. Мы будем предполагать, что существование алгоритма подразумевает наличие: а) четко заданного класса задач, каждая из которых может быть решена; б) программы для этого алгоритма; в) некоторого хорошо определенного критерия решения. Кроме того, должен существовать: г) некоторый язык, в котором класс задач, программа и критерий могут быть полностью заданы, так что ни одно ограничение не остается открытым для д) членов заданного множества методов решения задачи, которые могут потребоваться для использования программы.

Как ранние эвристические программы согласуются с этими определениями? Если мы в качестве примера рассмотрим программу

«Логик-теоретик», станет ясно, что она удовлетворяет последним трем условиям почти так же, как и алгоритм. Принципиальное отличие такой программы от алгоритма заключено, по-видимому, в первом и втором условиях. Говоря более определенно, либо класс решаемых задач не задан в явном виде, либо, если принять в качестве класса множество задач, соответствующих программе (в нашем случае — класс задач исчисления высказываний), программа решает многие из них, но не все.

В чем же тогда значение этих эвристических программ? Во-первых, они недвусмысленно демонстрируют, что механизм, оснащенный набором методов и эмпирических правил, которые не удовлетворяют требованиям, предъявленным только что к алгоритму, может тем не менее решить значительное количество задач из таких областей, которые ранее считались исключительной привилегией человеческого интеллекта. Кроме того, процессы этих специальных систем обнаруживают ряд важных аналогий с процессами, выведенными из экспериментальных протоколов поведения человека при решении задач. Тем самым эти программы могут иметь большую ценность как модели систем переработки информации в искусственном интеллекте. Однако в большинстве обсуждений потенциальной ценности эвристических программ как моделей процессов мышления человека не делается различий между тем, что мы называли хорошо и плохо определенными задачами; при этом оказывается, что разработанные до сего времени эвристические программы почти полностью относятся к области хорошо определенных задач, т. е. области, в которой задача и критерий решения могут быть заданы без открытых ограничений. Но, как уже говорилось, в большинстве, если не во всех задачах, с которыми приходится иметь дело человеку, вообще невозможно четко сформулировать такой критерий в виде, скажем, относительно простого правила или теста, понимаемого и одинаково применяемого любым членом подходящего класса решателей задач.

Есть все основания полагать, что могут быть созданы программы для вычислительных машин, способные решать плохо определенные задачи теми же способами, как это делают люди. В этом направлении уже наблюдается важный прогресс. Однако в настоящее время было бы целесообразно не делать слишком строгих обобщений существующих эвристических программ на всю проблему решения плохо определенных задач. Дело в том, что если различия между хорошо и плохо определенными задачами имеют фундаментальный характер, то мы не можем быть уверены, что программы, организованные в направлении имеющихся в настоящее время эвристических программ, будут действительно в той же мере

способны и к обработке плохо определенных задач и, в частности, к обработке их способами, аналогичными тем, которые, как нам кажется, имеются у человека.

Плохо определенные задачи в прикладных областях

Сейчас мы переживаем период революции в подходе к прикладным задачам, например в области искусственного интеллекта. В настоящее время в самых разнообразных областях искусственного интеллекта часто имеется возможность начинать с рассмотрения плохо определенных задач, а затем преобразовывать их в приблизительно эквивалентные хорошо определенные задачи путем введения подходящих ограничений, допущений или отождествлений. Однако за пределами области тривиальных и устойчивых задач надлежащее формулирование таких хорошо определенных задач само по себе становится плохо определенной задачей, на что уже указывалось ранее. Дилл и др. описывают пример с молодым администратором, которому было поручено решение определенной задачи (один первоначальный этап которой охватывал четыре месяца!), причем самая ее четкая формулировка состояла в указании «вникнуть» в возможные выгоды, которые методы исследования операций могли бы принести его фирме. Но это вовсе не столь нетипичный случай, как это может показаться на первый взгляд. В другом месте своей работы те же авторы указывают, что в рассматривавшейся ими статистической выборке молодых администраторов хорошо сформулированные задания являлись скорее исключением, чем правилом. Более того, можно высказать предположение, что при имеющихся индивидуальных и организационных ограничениях процессов переработки информации в изменяющихся условиях внешней среды нечетко поставленные и плохо определенные задачи, наверно, останутся существенной чертой искусственного интеллекта.

1.2.4. Источники новых проблем при решении задач

Хотя почти все задачи, которые мы обсуждали в качестве характерных примеров, не были порождены самим решателем задачи, большинство задач, несомненно, возникает в ходе самого процесса решения. Возможно, что наиболее очевидными примерами этого являются преобразования, которые мы совершаем над прежними задачами для

создания новых, решение которых может помочь нам при решении исходной задачи.

Предположим, например, что нам задана простая задача на отыскание: найти некоторый элемент x , такой, что x находится в R -отношении к некоторому другому элементу y . Предположим далее, что мы не способны обнаружить такой элемент. Тогда гибкая система для решения задач должна быть способной выработать какую-то вспомогательную задачу. Например, она может заставить себя искать некоторое отношение S , такое, что S эквивалентно R или влечет за собой R . Если может быть найдено такое S , которое влечет за собой R или эквивалентно R , и если затем может быть найдено некоторое x , которое находится в S -отношении с y , то x также будет в R -отношении с y и предыдущая задача будет решена системой. В качестве примера из повседневной жизни предположим, что вы организуете вечеринку и хотите пригласить партнера для одного из ваших гостей, который оказался холостым. Вначале вы попытаетесь вспомнить, знаете ли вы кого-нибудь, кто ему нравится. Если вам это не удастся, вы задаете себе вопрос, кто бы мог ему нравиться. В этом контексте вы можете принимать, что тот, с кем его неоднократно видели вместе, вероятно, ему нравится. Если вы затем можете отыскать кого-то, с кем его неоднократно видели вместе, вы склонны будете считать эту персону решением важной первоначальной задачи. В реальных взаимоотношениях людей такие выводы и суждения, конечно, сложнее и более обусловлены, чем в логических отношениях, однако, по-видимому, речь идет по существу о тех же преобразованиях задачи.

Вернемся снова к нашей задаче. Если решающий задачу не может найти какие-либо отношения, которые эквивалентны или влекут за собой R -отношение, мы можем побудить его пойти дальше и, возможно, *построить* отношение-произведение, эквивалентное R . Здесь, как и раньше, решатель задачи ставит новую задачу, решение которой может быть использовано как *средство* для достижения некоторых других *целей*. Подобного рода связь между средством и целями является универсальной характеристикой человеческого мышле.

Чтобы оценить разнообразие способов, которыми могут порождаться новые задачи в ходе переработки информации, рассмотрим несколько других примеров. К наиболее интересным источникам таких задач принадлежат рассмотренные нами выше открытые признаки. Вспомним задачу, в которой ваш работодатель просит вас найти заслуживающего доверия человека. Мы указывали, что эта задача является плохо определенной в том отношении, что в ней не были уточнены различ-

ные значения параметров понятия «заслуживать доверия» [например, такие, на которые мы ссылаемся в (6)]. Не определен также ни один признак понятия «человек». Мы не знаем, имеет ли наш работодатель в виду человека какого-то определенного возраста, определенной квалификации и т. д. Непосредственный вопрос состоит в следующем: устроит ли нашего работодателя некто, являющийся человеком и заслуживающий доверия, когда неизвестны и не уточнены некоторые другие условия? Если нет, то мы должны поставить перед собой подзадачу: как нам установить, какие значения требуемых параметров для него приемлемы? Чтобы решить эту вспомогательную задачу, вы можете, как уже указывалось, спросить работодателя или поставить себя мысленно на его место, чтобы попытаться выяснить, какие качества «заслуживающего доверия» человека могли бы быть особенно важны.

Любая задача, описываемая открытыми признаками, будет до некоторой степени иметь тот же самый характер. Если нам надо найти некое x , подобное y , мы прежде всего должны получить или предположить дополнительную информацию относительно природы и степени того подобия, о котором говорится в описании задачи.

Очевидно, что познавательные элементы, служащие признаками и значениями, следует рассматривать как *схемы*, или *формы*, свойства которых играют роль *параметров*, когда эти элементы используются в описании других элементов. С наиболее яркими примерами такого рода мы встречаемся при использовании аналогий, метафор и сходных признаков. Если описание задачи характеризует элемент a как сходный с другим элементом b , но не уточняет характер этого сходства, то все признаки элемента b фактически будут потенциально открытыми ограничениями, наложенными на a . Следовательно, они являются также источниками возможных вспомогательных задач в той мере, в какой мы пытаемся сделать a сходным с b или определить степень и размеры их сходства.

Независимо от того, «закрываем» ли мы открытые признаки путем выдвижения и решения детализованных подзадач или просто задавая признакам некие значения, «закрытие» признака эквивалентно заданию нового преобразования непосредственно предшествующей задачи. Каждое последующее изменение значений параметров также порождает новую задачу. Действительно, как уже отмечалось, важность присущей плохо определенным задачам свободы определения состоит в том, что она позволяет нам выполнять такие преобразования, когда мы не способны решить задачу в первоначальном виде. Предположим, наша задача состоит в том, чтобы заставить Джона что-либо сделать. Джон — человек, и мы используем

информацию, ассоциированную с человеком вообще, чтобы она направляла нас при определении тех аспектов характера Джона, которые мы пожелаем бы включить при постановке новой и более детально разработанной преобразованной задачи. Чем, например, объясняется надменность Джона? Мы можем вспомнить наш прежний опыт общения с ним и добавить в новое описание задачи какое-то суммарное значение признака «надменность», связанного с Джоном. Если теперь после попытки решить задачу мы приходим к выводу, что не можем этого сделать, так как надменность Джона вызывает трудности, мы можем снова рассмотреть наш опыт и заменить наше суммарное значение признака наименованием подписка, содержащего информацию о том, чем Джон гордится, от чего зависит его надменность, как она проявляется и т. д. Это даст нам новое описание задачи, и мы можем теперь попытаться решить эту преобразованную задачу.

Отметим, что если мы «закрываем» открытые параметры в описании задачи предположением, данным нам кем-то другим, наше поведение фактически основывается на некоторой гипотезе, или модели, того, что нас интересует. Если наши предположения неправильны, наше решение, как мы только что видели, может оказаться неприемлемым. Здесь, как и в статистике, чем больше число вводимых нами предположений, тем легче сделать что-либо с результирующей структурой, но тем менее вероятно и ее соответствие моделируемому элементу.

Отметим также, что мы вовсе не должны считать каждое сделанное нами предположение или каждую выдвинутую подзадачу результатом сознательного творческого мышления. Некоторые люди делают множество предположений неосознанно, при этом они только тогда обнаруживают, что фактически не знают, чего от них требует поставивший задачу, когда они, по их мнению, получили решение, а им в ответ говорят: «Нет, это не совсем то, что я имел в виду». Нам нет необходимости также допускать, что введение предположений носит адаптивный или плохо адаптивный характер. В задаче с девятью точками (рис. 2), как мы сразу видим, обычное предположение о том, что линия не должна выходить за очертания фигуры, является в значительной степени машинальным и определенно плохо адаптивным.

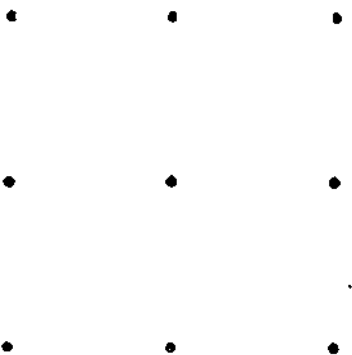


Рис. 2. Задача с девятью точками.

Условие задачи: девять точек должны быть соединены четырьмя прямыми линиями без отрыва карандаша от бумаги и без возврата по пройденному пути

1.2.5. Абстракция

Мы рассмотрели уже целый ряд путей, которыми ограничения распространяются с одной задачи на следующее преобразование. Ясно, что преобразование задачи должно идти также и в обратном направлении, так как в противном случае и человек, решающий задачу, и система искусственного интеллекта потонут в обилии , неконтролируемых деталей. **Преобразования, выполняемые для уменьшения детализации, мы называем абстракциями.** Абстракции осуществляются за счет отфильтровывания второстепенных деталей, не необходимых для некоторой конкретной цели. При обсуждении типов задач мы указывали, что эвристики решения задач могут быть приведены в соответствие с этими типами. Следовательно, можно ожидать, что абстрагирование часто предпринимается с той целью, чтобы от какой-то запутанной и неопределенной задачи прийти к задаче, удовлетворяющей требованиям определенного типа задач, что позволяет решателю задачи использовать методы переработки информации, связанные с этим типом задач. Требуется, чтобы некоторая сугубо детализованная задача была преобразована к виду, удовлетворяющему требованиям некоторого типа задач, означает также описать эту задачу. Более детализованные примеры динамических аспектов распространения ограничений и преобразований абстрагирования будут рассмотрены ниже при изучении конкретного примера решения творческих задач.

1.2.6. Оценка возможных решений как источник постановки новых задач

Если решатель задач хочет продвинуться вперед в решении некоторой задачи, он должен быть способен оценить то, что он уже сделал. Принципиальное значение проб и оценок какой-либо информационной модели целенаправленного мышления человека хорошо иллюстрируется концепцией, предложенной Миллером с сотр. Основной единицей поведения здесь служит ТОТЕ, т. е. схема Проба — Операция — Проба — Результат. Пробы (тесты) здесь следует понимать в рамках структуры, введенной ранее. Напомним, что мы там описали процедуры, позволяющие определить, является ли данная карточка в эксперименте Брунера и др. примером некоторого понятия, или удовлетворяет ли некоторая комбинация брюк, куртки и обуви правилу гармоничного сочетания цветов. В широком смысле все возможности решения оцениваются тем же самым способом. Но по мере того, как задачи, которые мы пытаемся решать, становятся более сложными, возникают различные трудности. Наиболее существенно, пожалуй, то, что после повторных преобразований задач мы можем неожиданно для себя обнаружить, что нами определен критерий, для которого не существует проверочного процесса. Тогда мы должны здесь поставить новую задачу, требующую найти или создать элемент, удовлетворяющий *описанию необходимого проверочного процесса*. Таким образом, можно ожидать, что процесс решения задачи включает случайные эпизоды, в которых целью является некоторый элемент, который позволит решателю задачи *оценивать другие элементы*. Отметим, что поскольку ни человек, ни машинная модель не гарантируют решения таких задач во всех случаях, нам придется столкнуться и с неудачными попытками решения, но не из-за отсутствия возможностей решения, а из-за того, что нет критериев, с помощью которых мы могли бы их оценить.

Какого рода проверочные тесты можно надеяться найти в процессах решения задач человеком? Этот критерий указывает, что объект должен обладать определенным свойством. Например, он должен быть красным. Тогда мы определяем, является ли он красным, отыскивая информацию в памяти или просто смотря на этот объект, если он находится перед глазами. Аналогично модели решения задач могут непосредственно осуществлять проверку признаков и их значений, а модели восприятия могут применять операторы типа описанных Уром. Элементы процесса могут оцениваться аналогичным путем. Мы можем отыскать информацию о времени, необходимом для данного процесса, либо прямо проследить за этим временем и зафиксировать его. И в том

и в другом случае более сложные тесты могут быть сконструированы на основе детальных цепочек выводов.

Многие проверочные процессы требуют, чтобы мы задали какую-то входную величину и некоторый процесс, ввели эту входную величину в процесс, а затем пронаблюдали, что произойдет. Например, процесс, указанный в примере (1), должен превратить свиное ухо в шелковый кошелек. Чтобы установить, может ли данный процесс обеспечить это, мы должны ввести в качестве входной величины свиное ухо и ждать, что произойдет. Иногда мы можем «проиграть» такие процессы на мысленной модели, используя прошлый опыт со сходными процессами для вынесения решения о том, что вероятнее всего должно произойти (с некоторой достаточной субъективной вероятностью). Для более сложных процессов или таких процессов, для которых нет предшествующего опыта, или же в тех случаях, когда необходима очень большая вероятность, мы по желанию можем наблюдать либо реальный процесс, либо какую-то подходящую внешнюю модель. Именно в этом пункте вычислительная машина помогает решателю задачи, который стремится проверить модель некоторого психологического процесса она позволяет ему реализовать гипотезу об этом процессе во внешнем мире и наблюдать, действительно ли она преобразует подходящие входы в ожидаемый выход

Отметим, что все такие эмпирические тесты по отношению к процессам являются одновременно и тестами над входами в систему. Это следует из того, что мы не можем гарантировать, чтобы все входы оставались неизменными во всех отношениях, которые как-то влияют на операции данной процесса. Это можно проиллюстрировать на примере теста «коленного рефлекса». Врач прилагает «входное воздействие» к вашему колену, и нога реагирует или не реагирует. Если она реагирует, врач заключает, что ваши рефлексы, вероятно, в порядке. Но если коленный рефлекс отсутствует, мы не можем автоматически заключить, что у вас плохие рефлексы. Докторский молоточек мог ударить и не по тому месту.

Эта сторона такого рода тестов может найти хорошее применение. Мы вполне можем использовать этот «коленный» тест не для проверки ваших рефлексов, а для определения меткости врача. И вообще решатель задач часто может быть способен определить тест для некоторого элемента по отношению к его последствиям, применяя его в качестве входа в некотором процессе. Именно это мы фактически и делаем, когда рассматриваем какой то **перцептуальный или познавательный элемент** и спрашиваем себя, что произойдет, если мы примем, отбросим или сравним его с другими элементами.

Иными словами, мы можем использовать процесс для калибровки объектов подобно тому, как мы используем объекты для калибровки процессов и операторов, в обоих случаях мы должны сделать какие-то предположения об объектах или процессах, которые мы при этом используем. На практике, конечно, выбор и проверка средств, которые мы используем, помогут уменьшить вероятность ошибочных предположений, хотя такая возможность никогда не может быть полностью исключена.

Об усовершенствовании классификации задач

Миллер и другие авторы указывали на необходимость более адекватного анализа и описания задач во всех областях переработки информации. Такого рода анализ, особенно в отношении плохо определенных задач, имеет большое значение для искусственного интеллекта. Как мы уже отмечали, большинство наших интеллектуальных усилий относится к плохо определенным задачам. Но именно эти задачи мы хуже всего понимаем.

Эта глава задумана как шаг в направлении создания схемы для такого рода анализа и описания задач. Полезность такого подхода будет зависеть среди прочего и от степени его применимости к более широкой области задач, чем те, которые были рассмотрены выше. Но анализ такого рода необходим для прогресса в функционально ориентированной теории мышления. При постоянном отсутствии подобной теории динамического контекста, в рамках которого делаются эти суждения, мы можем ожидать лишь весьма ограниченного понимания поведения человека в отношении плохо определенных задач. В то же время неуклонное совершенствование нашего понимания одушевленных и неодушевленных систем переработки информации, которые *решают* задачи, неизбежно будет зависеть от усовершенствования нашей способности *описывать* задачи и их взаимные связи.

О выборе альтернатив

Описывая некоторые различия между традиционным подходом к «поведению в условиях выбора», используемым в экономической теории, и его собственным пониманием «удовлетворения», Саймон пишет следующее: «Классическая теория — это теория человека, выбирающего между фиксированными и известными альтернативами, с каждой из которых связаны известные последствия. Но когда между человеком, принимающим решение, и объективной окружающей

средой включается восприятие и познание, такая модель уже не может считаться удовлетворительной. Нам необходимо описание процесса выбора, которое учитывало бы, что альтернативы не заданы, а должны быть найдены, и описание, которое принимало бы во внимание трудную задачу определения тех последствий, к которым приводит каждая альтернатива. Как известно каждому математику, одно дело — иметь систему дифференциальных уравнений, а совсем другое дело — иметь их решения. Однако решения логически вытекают из уравнений — они «все на месте», и надо только суметь к ним подобраться. Точно так же имеются несметные количества выводов, которые *могли бы* быть сделаны из информации, хранящейся в мозгу, но которые на деле не были сделаны. Следствия, вытекающие из содержащейся в памяти информации, становятся известными только при активной переработке информации, т. е. при активном отборе конкретных путей решения задач из мириадом путей, которым можно было бы следовать». Несомненно, что, если мы ограничиваем себя рассмотрением лишь плохо определенных задач, заявление, что «альтернативы не заданы, а должны быть найдены», является не только утверждением относительно роли человека, но и теоремой, которая может быть довольно непосредственно выведена из основного определения плохо определенной задачи. Ибо понятие плохо определенной задачи опирается на понятие открытого признака, т. е. признака, чье определение включает один или более параметров, значения которых остаются неуточненными, когда задача дается решающей системе из внешнего мира или циркулирует в системе в течение некоторого времени. Другими словами, для того чтобы решить, плохо определенную задачу, сам решатель задачи должен отыскать или выработать способы «закрыть» ее открытые ограничения. В некоторых простых случаях может оказаться достаточным обычный поиск в памяти или случайный выбор. Однако в задачах типа рассмотренных нами может потребоваться сложная последовательность процессов переработки информации. Утверждение Саймона заслуживает внимания также и в двух других отношениях. Первое касается понятия множества или пространства альтернатив решения. Мы использовали его здесь как описательное выражение, взятое извне. Но в *решателе задач* или *в его задаче*, по-видимому, нет ничего, что сколько-нибудь разумным образом соответствовало бы такому понятию. Совсем наоборот: мы можем утверждать, что весь «трюк» при решении плохо определенной задачи заключается в том, чтобы выработать лишь *одно* полное и конкретное решение, удовлетворяющее требованиям задачи.

Наконец, трудно переоценить значение замечаний Саймона относительно ограничений памяти и способности к переработке информации, при которых приходится работать решающему задачу человеку. Ясно, что мы должны принять это за основу, если хотим полностью понять значение тех многочисленных методов, которые используются людьми для абстрагирования, обобщения, наложения и смягчения ограничений.

В некотором весьма реальном смысле все предшествующее обсуждение структуры плохо определенных задач отражает наше стремление как можно лучше осветить, что же мы, собственно, совершаем, когда, несмотря на все ограничения, наложенные на переработку нами информации, мы все-таки решаем задачи.

1.2.7. Решение творческих задач на примере создания фуги

Творчество — одно из тех приятно звучащих слов, которые применяются к невероятно широкому разнообразию ситуаций. Насколько можно судить по аннотированной библиографии Стейна и Хейнце, наиболее часто используются два подхода к проблеме творчества, которые можно было бы назвать «психоаналитическим» и «измерительным». Однако можно было ожидать, что по мере развития моделей процессов искусственного интеллекта они также начнут применяться к различным аспектам проблемы или проблем творчества. Ньюэлл, Шоу и Саймон дали анализ творчества при решении задач на основе принципов, заложенных в их «Общем решателе задач» (General Problem Solver). Ниже излагается несколько иной взгляд на некоторые аспекты той деятельности, которая обычно называется творчеством, на основе детального исследования процесса создания фуги профессиональным музыкантом. Эти аспекты творчества рассматриваются здесь потому, что они легко включаются в схему, развитую выше. Результат никоим образом нельзя считать теорией творчества, однако он иллюстрирует формы использования нашей аналитической схемы и возможности, заложенные в таком систематическом подходе к психологии художественного творчества. Ранее создание фуги приводилось в качестве примера задач такого типа, когда начальное и конечное состояния и процедуры преобразования оставлены полностью неопределенными, за исключением некоторого свойства, которое в данном случае (есть,

фуга) связано с каким-то объектом конечного состояния. Чтобы выяснить, как можно было бы реально подойти к такой проблеме, с композитором было заключено соглашение о том, что он будет подробно описывать все, что он делает в процессе работы над фугой. С композитором проводились регулярные встречи, и все сказанное им или проигранное на пианино в процессе создания фуги записывалось на магнитофонную ленту. Излагаемые в ниже материалы и данные их анализа основаны на соответствующей протокольной записи. Воспроизводимые ниже выдержки из начальной части протокола дают хорошее представление о характере материала, с которым нам приходилось иметь дело. Композитор как раз закончил переложение темы для второго голоса фуги и возвращается к задаче отыскания подходящего продолжения для первого голоса. Обратите внимание на интересный контраст между «языком творчества», который используется для постановки задачи, и последовательным развертыванием процесса решения задачи, когда композитор сначала ищет подходящий мотив, затем пытается наметить дальнейшее развитие этого мотива и, наконец, проверяет, может ли полученный результат служить приемлемым контрапунктом в сочетании с исходной темой.

Создание фуги как пример плохо определенной задачи

«Это должно делаться по вдохновению. Мне нужна сейчас идея, которая по своему рисунку и по интересным сочетаниям интервалов и ритмической структуры была бы почти столь же хороша, как и исходная [тема], и в то же время может служить либо противопоставлением исходной теме, либо просто хорошим контрапунктом. Поэтому мы не беспокоимся больше о начальной теме (проигрывает ее), она повторяется. Нам придется немного поработать... а значит, и немного поиграть (проигрывает заключительную часть темы). Тут есть пианистическая проблема (играет). М-да, нам следует добиться соответствия в напряженности соотношений интервалов между темой и новой мелодией (играет) ... вот это .. о, нет (играет). Вот это, пожалуй, подойдет (играет). А теперь посмотрим, что дает это (играет). Теперь мы имеем новый мотив, та-тиии ... (напевает и играет). Что нам делать с этим новым мотивом? Он еще ничего нам не дает (играет). Ага, что-то вроде синкопы, та-таа, тии (напевает и играет). Ритм должен быть отличным от исходной темы, но он должен заключать в себе некую идею, ритмическую идею (играет со счетом). Попробуем замедлить синкопирование... (играет). Это не подойдет, так как просто повторяет тему».

Дальнейшие попытки разрешить последнюю задачу привели к возникновению новых проблем, и композитор решает изменить принятое ранее направление поисков.

«(Стирает запись). Я думаю, нам придется отказаться от идеи замедленного синкопирования, чтобы уйти от повторения темы... и попытаться получить что-то более мелодичное... Напрашивается идея о более сложной ритмической канве по отношению к теме, которая довольно жестка... У меня двойственное чувство (играет со счетом). Возможно, что-нибудь в виде контрмелодии в триолях... но это может оказаться чересчур сложным на этой стадии (стирает). Попробуем более быстрое синкопирование, чтобы получить пианистический эффект... Мы приходим к стилю больших интервалов, все более длинных интервалов в новой мелодии... (играет). А что, из этого может выйти мотив... похоже на то, что нужно .. что-то вырисовывается... Теперь у нас есть мотив, с которым можно поработать (играет со счетом). Это уже представляет интерес, и к тому же более пианистично, чем отдельные ноты (играет). Теперь посмотрим, как это звучит вместе (играет первый и второй голоса совместно). Да, это хорошо сочетается с тем, что мы имеем в теме».

Из обсуждения понятия задачи мы помним, что признаки (атрибуты), определяющие описание, могут рассматриваться как *ограничения, налагаемые на решение задачи*, а тем самым, косвенно, и на процесс его получения. Более того, точно таким же образом каждое преобразование исходной задачи является источником дополнительных ограничений, которым должны удовлетворять связанные с ними решения задачи.

Возможно, самым интересным в этих выдержках из протокола работы композитора является различная форма, в которой признаки задачи ограничивают и направляют последовательность преобразований. Использование признаков текущей задачи для осуществления преобразований, конечно, играет особенно важную роль в таких системах решения задач, как GPS. Примечательным в указанном выше протоколе является разнообразие форм ограничений, с которыми работает композитор, и рост числа ограничений в процессе решения задачи. Насколько трудно удовлетворить системе ограничений, соответствующих какому-то определенному описанию задачи, зависит от путей роста ограничений. Этот динамический аспект работы композитора требует поэтому более подробного рассмотрения.

Рост ограничений и его источники

Одна из интересных особенностей большинства рассмотренных выше задач состоит в том, что хотя их следовало бы считать сложными задачами, они имеют очень мало заданных ограничений. Создание фуги является хорошим подтверждением этого факта. Здесь основное исходное ограничение (и при этом открытое ограничение) состоит в том, что конечным результатом должна быть фуга. Все другие ограничения оказываются в какой-то мере вспомогательными, накладываемыми одним преобразованием задачи на другое. Каковы источники этих вспомогательных ограничений и какую роль они играют в цепочке преобразований задачи?

Формулы преобразований

Один из важных классов структурных или синтаксических ограничений возникает при тех преобразованиях задачи, которые в первом приближении аналогичны «правилам переписывания» (rewriting rules) в структурной лингвистике. Подобно тому как «предложение» преобразуется в «подлежащее плюс сказуемое», а «подлежащее» может преобразоваться в «артикль плюс существительное», можно себе также представить, что «фуга» преобразуется в «экспозицию плюс развитие плюс заключение», «экспозиция» — в «материал темы плюс материал противотемы», а «материал темы» — в «мотив плюс развитие мотива».

Но хотя понятие лингвистического преобразования является полезной аналогией, им не следует злоупотреблять. В одном отношении, по крайней мере в том смысле, в каком они используются некоторыми лингвистами, например Ингве, такие формулы преобразований действительно *управляют* последовательностью развития процесса. Можно с уверенностью сказать, что в протоколе работы композитора над фугой имеется сходная общая тенденция, выражающаяся в порядке выведения подблоков из более крупного блока. Но связь здесь гораздо более слабая, чем в случае с лингвистическим материалом, и иные соображения иногда заставляют композитора изменить заданный порядок и избрать взамен другой.

Более того, в большинстве задач, рассмотренных ранее, не наложено каких-либо ограничений на число или источники уравнений преобразования, которые могли бы помочь при решении творческой задачи. Композитор работает всецело на основе тех знаний, которые он держит в своей голове. Но решающий задачу часто испытывает

потребность обратиться к друзьям, книгам и другим источникам информации; он может счесть желательным изучить решения сходных задач, чтобы выработать новые формулы преобразований. И вообще у него полная свобода выводить или разрабатывать новые формулы преобразований любым способом, который он сочтет приемлемым.

Характеристики и особенности составляющих задачи как источники ограничений

Все признаки любого объекта или процесса, входящих в задачу, могут служить в качестве ограничений решения. Пусть, например, композитор хочет, чтобы его произведение особо соответствовало тому инструменту, для которого оно предназначено. Другими словами, в произведении должны быть использованы такие комбинации и такая аранжировка, которые возможны только на выбранном инструменте или которые звучат на нем особенно эффектно. Как только композитор задал это общее ограничение и решил написать фугу для *фортепиано*, все характерные признаки фортепиано как инструмента становятся как бы элементами и условиями расширенной формы первоначального общего ограничения. В плане динамики все множество проб и порождающих процессов подчиняется этому ограничению. Они представляют рабочие формы знаний композитора относительно выбранного инструмента. К ним можно обратиться всякий раз, когда при постановке задачи встречается признак: «относится к фортепиано».

Чем дальше продвигается решение задачи, тем большее число различных ее составляющих приобретает значение источников ограничений. Как предполагалось выше, процесс решения задачи обычно принимает вид последовательности непрерывных уточнений. Но уточнение деталей любой подсоставляющей сразу же приводит к уточнению ограничений на любые другие подэлементы, определенные по отношению к ней хотя бы в общем виде.

Два примера такого расширения ограничений в результате уточнения составляющих уже были рассмотрены. Только что обсуждалось уточнение, вытекающее из решения композитора о том, что создаваемая им фуга должна быть специально предназначена для определенного инструмента, и этим инструментом должно быть фортепиано. Второй пример приводился при обсуждении атрибутивных ограничений и сводился к тому, что на первоначальный материал противотемы накладывается ограничение, состоящее в том, что он должен отличаться от темы. Здесь это общее требование снова влечет за собой целый набор вполне конкретных ритмических и

гармонических ограничений, как только композитор остановился на какой-то теме.

По мере работы над фугой характерными для протокола становятся такие замечания: «Я играю со счетом шесть, стараясь, чтобы мой слух привык к этому виду материала». Это наводит на мысль, что композитор все больше и больше времени тратит на характеристику уже полученных им результатов, чтобы переформулировать слишком свободные ограничения, которые требуют дальнейшего уточнения с учетом деталей конкретизированного контекста.

Расширение ограничений, подобное описанному выше, до сих пор имело в основном локальные следствия. Однако некоторые ограничения, возникающие при уточнении задачи, охватывают более широкую область. Например, вначале композитор не уверен, будет ли его fuga «строгой», т. е. сохранится ли тема неизменной на протяжении всего произведения. Однако к моменту, когда вступает третий голос, вопрос, пожалуй, становится чисто академическим, так как существенное совпадение записей для первых двух голосов совместно с требованием общей согласованности, по-видимому, исключает другую возможность.

В свете этого примера мы можем рассматривать «предварительную установку» при решении задач в значительной мере как воздействие таких требований общей согласованности на результаты, полученные в ходе решения локальных подзадач. Тем самым открытые ограничения постепенно «закрываются» и первоначальное пространство задачи сужается.

Композитор вполне отдает себе отчет в том, как он использует такую тактику «предварительной установки» при разбиении или сужении пространства задачи. Например, при обсуждении использования им «условностей» композитор замечает:

«Я не знаю, почему я использовал слово «условность». Пожалуй, я позаимствовал его у художника, который изображает все только с помощью треугольников. И как только он нашел эту условную форму, все, что он делает со своими треугольниками, становится выразительным. Но сама по себе «условность» была чем-то, относительно чего нужно было принять решение, прежде чем использовать его. Так, здесь мы принимаем решение о форме произведения, мелодии, ритме и «пианистической» природе произведения, над которым мы собираемся работать, и называем это «условностью», так что можем использовать его для создания музыки».

Основное различие между таким введением условности и заданием ограничения «строгости» состоит в том, что первое делается до создания материала, которым должна управлять эта условность, тогда

как второе является чем-то вроде «подгонки», т. е. выбором постфактум «условности», совместимой с тем, что уже сделано.

Использование условностей на различных уровнях задачи обсуждалось при рассмотрении деятельности таких хорошо известных творческих личностей, как Стравинский и Пикассо. Сужение пространства решений задачи во многих отношениях аналогично рассмотрению шахматных стратегий, связанных с гамбитами. Однако в случае музыкальных «условностей» ситуация еще более усложняется за счет стремления использовать материал для уменьшения интереса, который сходный материал мог бы вызвать при его последующем появлении. Композитор так комментирует дальше свой взгляд на «условности»: «...как только я получил какой-то вариант, мне хочется начать изменять его, потому что я хотел бы избежать скуки от постоянного его повторения». В результате мы часто видим в протоколе как бы непрерывный конфликт между требованиями единства и экономии в использовании «условностей» и необходимостью поддерживать интерес и разнообразие в пределах определенных подкомпонентов развивающейся фуги.

Итак, расширение числа ограничений происходит за счет различных источников. По мере того как добавляются новые ограничения, решающий задачу вкладывает все больше усилий в некоторую определенную и ограниченную область пространства гипотетических решений. Для многих решателей задач самый факт затраты усилий в определенной области будет достаточным, чтобы практически исключить исследование других областей, если только множество решений, определяемых данным комплексом ограничений, не окажется пустым. В последнем случае задача, которая первоначально казалась разрешимой, превращается в задачу, которая кажется неразрешимой, и исследователь задачи должен либо вернуться назад, либо отказаться от попыток найти решение.

Планы и планирующая связь

Текущую последовательность преобразований задачи можно представить себе как цепочку шагов или траекторию через гипотетическое пространство задач, началом которой является исходная задача, а текущая задача — временной целью. Каждый узел на этой траектории сам представляет собой некоторое описание задачи, и каждое такое описание задачи удовлетворяет ограничениям, наложенным признаками предшествующего ему описания. Каждая такая задача в свою очередь также определяет какое-то множество

ограничений, которым должны удовлетворять последующие преобразования, чтобы приводить к решению этой задачи. В любой такой цепи каждое описание задачи может рассматриваться как находящееся в планирующей связи (planning relation) с теми описаниями, которые вытекают из него. Другими словами, любое такое описание, как информационную структуру, можно считать *планом* для всех членов множества, которое оно определяет. В более широком смысле *любая* информационная структура— состояние, процесс или объект — может рассматриваться как план для любой другой информационной структуры, если только признаки одной структуры истолковываются как ограничения, наложенные на признаки другой структуры. В частности, из этого вытекает, что любой компонент или подкомпонент можно интерпретировать как план для тех компонентов или подкомпонентов, которые из него вытекают. В этом смысле планы, проблемы, модели и промежуточные решения можно рассматривать как выражения одного и того же понятия — информационных структур уже описанной формы; различия в значениях этих терминов относятся не к самим структурам их объекта, а к тому, как их использует определенный решатель задач, т. е. относятся к этим структурам в их связи с другими структурами в пространстве задач. В качестве простого примера рассмотрим само понятие решения «в принципе». Часто это просто конечное описание в последовательности преобразований задачи. Множество, которое оно оппелеляет может содержать:

1) только один элемент; 2) несколько элементов (в этом случае решающий задачу либо принимает первый элемент, который он получает, либо вынужден искать дополнительные критерии выбора); 3) ни одного элемента. В последнем случае характеристика данного описания как решения «в принципе», разумеется, оказывается преждевременной.

За пятнадцать страниц до конца протокола композитор восклицает: «Вот!» «Теперь конец вполне очевиден,— поясняет он, — и уже не существует никакой проблемы. Это и есть решение... Структура произведения теперь решена... Я не думаю, чтобы что-то могло помешать». Однако затем он добавляет: «Конечно, никогда нельзя быть уверенным, пока не дошел до конца; всегда есть опасность...» Замечания композитора в этом месте прекрасно иллюстрируют множественную роль решения «в принципе» и, в более общем виде, любого преобразования задачи в ряду: задача, план, модель и промежуточное решение. Подобным же образом вся совокупность терминов, которые, по-видимому, обозначают различные *виды* информационных структур, такие, как аналогия, теория, абстракция и уровень

стремлений, а также упомянутые выше виды структур, хорошо интерпретируется в терминах предлагаемой здесь функционально ориентированной схемы, приводя нередко к существенному прояснению понятий.

Планы и решение задач

Простота понятия планирующей связи отнюдь не означает, что сама *деятельность* по планированию при решении задач является легким делом. Верно, конечно, что преобразования описания задачи должны удовлетворять ограничениям, вытекающим из этого описания, если решения преобразованных задач одновременно должны входить в решения предшествующей задачи. Но в подобной ситуации ничто не заставляет решателя задачи ограничиться такими преобразованиями. Он может пренебречь ограничениями любой заданной задачи при переходе к следующей задаче, хотя, конечно, поступая так, он лишается в последующем гарантии, что успех в решении новой задачи будет иметь какое-то отношение к решению предшествующей задачи.

Мы коснулись одного примера таких скачкообразных переходов в пространстве задач при обсуждении работы над компонентом или подкомпонентом задачи, «вырванными из контекста». Другим примером является эвристика планирования в GPS. Здесь множество всех признаков, характеризующих информационные структуры в пространстве задач, распадается на два подмножества — существенных и несущественных признаков. При планировании решающий задачу переходит от полного пространства признаков к подпространству, образованному путем подавления всех несущественных признаков. Однако здесь снова не гарантируется, что успех в продвижении к решению задачи в этом подпространстве можно перевести в успех на пути решения исходной задачи.

Эвристика планирования, которую Ньюэлл, Шоу и Саймон ввели для GPS, конечно, является только одной из многих процедур абстрагирования или упрощения, которые может использовать решатель задачи. Мы могли бы, например, вместо их двоичной системы различения существенных и несущественных признаков взять континуум. Это позволило бы делать все — от подавления единичного признака до подавления всех признаков, кроме одного (в этом случае система планируется с использованием индивидуальных характеристик, рассматриваемых порознь). Протокол работы композитора обнаруживает постоянное использование таких упрощающих методов при выборе признаков,

которые должны быть подавлены или которым нужно уделить внимание как, по-видимому, зависящим от текущей задачи. Так, например, в какой-то момент композитор пренебрегает всеми признаками двух мелодических линий, кроме аранжировки гармонических интервалов, которые они образуют. В другой момент он может сосредоточить внимание только на ритмических или динамических признаках и т. д.

Когда число ограничений, исключаемых при таком скачкообразном движении, невелико и действие их локально, решающий задачу часто имеет основания ожидать, что он сможет включить свои результаты в предшествующую задачу, сохраняя тем самым плоды своей работы над текущей последовательностью преобразований. Однако чем многочисленнее и сложнее исключенные ограничения, тем больше для решающего задачу риск внести усложнения, взаимосвязи или противоречия при попытках связать свои последние результаты с предшествующей задачей.

Сказанное легко становится понятным, если вспомнить, что решение задач понимается здесь как процесс возрастания конкретизации, причем индивидуальные подкомпоненты взаимно согласовываются друг с другом во все большем количестве деталей. Следовательно, можно ожидать, что изменение какого-то компонента или подкомпонента вне контекста или с исключением деталей и последующим повторным включением этого подкомпонента в предшествующее описание задачи приводит к такому усложнению задачи, при котором модифицированный подкомпонент обладает признаками, отличающимися от тех, к которым приспособлены связанные с ним подкомпоненты.

Изменение планов в результате обратной связи с решением задачи

Ясно, что, когда решающий задачу отказывается от текущей задачи, она перестает действовать как план для дальнейших преобразований. Очевидно также, что когда решатель задачи успешно выполняет преобразования, в результате которых новое описание удовлетворяет ограничениям, наложенным предшествующим описанием, и одновременно продвигает решающую последовательность к решению исходной задачи, новое описание, как правило, заменяет предшествующее в качестве текущей задачи и плана. Анализ протокола действий композитора, однако, выявляет и ряд других типов связей между результатами решения задачи и изменениями плана, и на

них стоит остановиться.

К числу наиболее интересных случаев относятся такие, в которых решающий задачу создает новую информационную структуру, которая противоречит ограничениям задачи, но тем не менее является слишком интересной или перспективной в других отношениях, чтобы ее игнорировать. В таких случаях иногда делается попытка изменить одну или несколько предшествующих проблем. Другими словами, подобно Магомету («если гора не идет к Магомету, то Магомет идет к горе»), композитор решает, что если то, что имеется в данный момент, неприемлемо, он попытается изменить самую задачу так, чтобы то, что имеется, стало приемлемым. Фактически он при этом «перескакивает» в некоторый другой узел пространства задач, который отличается от описания текущей задачи только в отношении исключенных ограничений. Как уже было указано выше, осуществление такого «скачка», конечно, всегда таит в себе возможность внесения несогласованностей, противоречий и т. д.

Для наглядности рассмотрим последовательность, которая возникает в момент, когда композитор пытается разработать некоторый эпизодический (т. е. связующий) материал путем изменения предшествующих тематических фрагментов. По-видимому, его интересует какой-то результат, но при этом он замечает, что «это немного нарушает цельность произведения, так что, когда я смотрю на него, я думаю, что, может быть, лучше не стоит...». Однако сразу же после этого он вместо отказа от данного материала пренебрегает этим ограничением. «Ладно, может быть, не стоит так строго смотреть на это, пусть вся вещь примет более свободную форму, не следуя строго предписаниям для фуги».

Довольно интересно, что композитор впоследствии снова накладывает исходное ограничение (т. е. снова «перескакивает» в пространстве задач к предыдущему узлу) и еще раз отвергает полученный материал. Более того, в шести или около этого сходных случаях, когда в виде исключения производится изменение основного и общеприменимого ограничения, соответствующий материал не сохраняется. Вместо этого композитор либо изменяет сомнительный материал, чтобы привести его в соответствие с исходным ограничением, либо полностью отбрасывает его. Вероятно, это связано с тем, что трудности, возникающие при отклонении от основного ограничения, не окупаются возможным выигрышем.

С другой стороны, когда речь идет о второстепенных или чисто локальных ограничениях, с некоторой частотой может наблюдаться двухстороннее взаимодействие между планом и вновь созданным объектом. Таким образом, решение задачи может привести к

выполнению некоего плана, отбрасыванию плана вследствие невозможности его выполнения или же к изменению плана «постфактум», чтобы согласовать его с чем-то, что решающий задачу неожиданно открыл или создал и теперь желает сохранить. Ибо, как давно заметил Ральф Бартон Перри, можно решать задачи, не только получая то, что желаешь, но и желая то, что получаешь

Следует заметить, что такое *апостериорное* изменение плана или предписание привести его в соответствие с каким-то аспектом (или использовать какой-то аспект) ситуации на другом конце планирующей связи характерно для многих ситуаций.

Законодательство, которое на первый взгляд что-то предписывает, иногда просто выражает скрытое признание совершившегося факта или особого случая. И известны случаи, когда законы подгоняются к существующим политическим условиям с такой же настойчивостью, с какой, скажем, ученые иногда стремятся подогнать кривые, описывающие физические законы, к скоплениям своих экспериментальных точек.

Связанные альтернативные планы

Другой класс связей между результатом решения задачи и изменением плана возникает при так называемых связанных альтернативах.

Последними являются планы, существующие совместно в течение некоторого периода времени, причем решение о выборе между ними откладывается до получения результата работы над материалом, который может являться подкомпонентом одного из этих планов, а возможно, и обоих.

Первый пример связанных альтернативных планов встречается в воспроизведенной выше большой выдержке из протокола работы композитора. В ней композитор заявляет о том, что материал, который он разрабатывает, «может служить либо противопоставлением исходной теме, либо просто хорошим контрапунктом...» Эти варианты не эквивалентны, особенно в смысле их воздействия на последующее развитие фуги. Но на практике композитор не спешит остановить свой выбор на одном из планов, соответствующих этим альтернативам, пока он не разработал материал и не получил возможности оценить, какой из них открывает лучшие перспективы.

Имеется ряд других довольно важных примеров такой неопределенности, иногда затягивающейся на длительное время. Одним из наиболее интересных примеров такого рода является ситуация, когда композитор заканчивает работу над материалом

контрапункта, связанным с третьим голосом, и перед ним встает вопрос о соответствующем продолжении.

«Теперь вступают в силу более сложные вопросы организации... Хорошо бы иметь теперь возможность расширения экспозиции или вступления четвертого голоса, если это превращается в четырехголосую фугу» .

В этот момент у композитора имеются две или, возможно, три основные альтернативы, каждая из которых приводит к потенциально удовлетворительным, хотя и довольно различным видам решения первоначальной задачи создания фуги. Его фуга может быть трехголосой, и тогда он хочет разработать ее развитие в центральной части; фуга может быть четырехголосой с почти немедленным вступлением четвертого голоса; или же фуга может быть четырехголосой, но с промежуточной связующей частью. Какому плану должен он следовать?

Мы обнаруживаем, что этот основной выбор или решение, которое нужно принять, теперь начинает совершать удивительную цепочку превращений, которая в какой-то мере отражается в словах композитора в процессе работы. «Один эпизод кажется мне подходящим»,— замечает он чуть дальше. Однако через девять страниц, после того как он разработал около двух тактов дополнительного материала, он делает большую паузу, а затем довольно неожиданно замечает: «Здесь возможно вступление четвертого голоса».

Далее он снова выражает серьезные сомнения: «Это, несомненно, никогда не станет фугой для трех (!) голосов... если только случайно не возникнет необходимость во вступлении четвертого голоса». Затем, еще через семь страниц и после другого такта обнаруживается, что композитор снова разрабатывает тему для басов в виде «подчеркнуто двухголосого варианта темы, что кажется неплохой идеей».

Четыре страницы спустя композитор делает временную остановку и описывает создавшуюся ситуацию: «Надо еще заполнить некоторые пробелы, но это уже вполне годится... Теперь как раз уместно выявить этот голос, который фактически является своеобразным вариантом идеи для четвертого голоса и прекрасно звучит в кульминации...».

Следующая часть начинается с нескольких ссылок на работу над четвертым голосом. Но к концу части, еще через три-четыре такта в словах композитора снова появляется какое-то сомнение: «В фугах Баха, например, имеются четыре голоса, потому что они имеют четырехголосую структуру. Здесь же у нас четыре голоса являются просто своего рода уступкой предшествующему стилю».

Интересно отметить, что в конечном счете композитор называет свое произведение «фуга-а-тре» и что компетентный специалист,

изучавший это произведение, не зная личного заключения композитора, пришел к выводу о невозможности строго однозначно классифицировать фугу. Можно доказать, что данная фуга в традиционном смысле не является произведением ни для трех, ни для четырех голосов, а является образцом новой формы, которую композитор сам изобрел. Пожалуй, это наиболее правильная точка зрения. Однако из протокола достаточно ясно видно, что композитор при первых преобразованиях задачи начал с использования традиционных форм, а затем долго колебался между альтернативными текущими последовательностями преобразований, подобно тому как мы, пытаясь составить себе определенное мнение о чем-то, обычно колеблемся между двумя временно параллельными путями, переходя от одного к другому, по мере того как все больше раскрывается лежащая за ними территория.

Предшествующее обсуждение вопроса позволяет сделать некоторые выводы о том, что может дать нам систематический анализ протокола рассмотренного вида. Наша первоначальная цель состояла в том, чтобы выяснить, может ли, а если да, то каким образом, такая деятельность быть включена в модель GPS. Наш «вопрос-заменитель» был поставлен так: «Как можно было бы воспроизвести и объяснить поведение композитора, если использовать GPS в качестве модели процессов мышления?» Иными словами, мы использовали GPS в качестве средства для изучения поведения, отраженного в протоколе. Мы обнаружили, что, по-видимому, имеются важные аспекты поведения, не поддающиеся включению в схему более ранних вариантов GPS, с которыми мы работали. Результатом явилась разработка нашей собственной схемы процессов мышления, во многом опирающейся на модель GPS, но в некоторых отношениях отличающейся от нее.

Хотя на основе анализа деятельности композитора действительно была разработана программа для создания хоралов в стиле Баха, в течение последних нескольких лет не было создано полноценных программ для моделирования деятельности такого уровня сложности. Но это обстоятельство ни в коей мере не умаляет ценности «вопроса-заменителя» при создании модели мышления. Напротив, задавая вопрос о том, какая программа могла бы имитировать наблюдаемое поведение, мы получаем возможность выразить на четком языке гипотезы о структурах и процессах мышления, описанные в данной и предшествующей главах. Уже сама по себе такая форма анализа расширяет наше представление о тех видах информационных процессов, которые имеют место при решении творческих и артистических задач.

1.3. Задачи и действия по их решению

Настоящий раздел посвящается характеристике общего понятия задачи и ряда других центральных понятий теории задач.

Прежде чем перейти к систематическому изложению материала, коснемся некоторых терминологических вопросов.

Наряду с термином «задача» в теории искусственного интеллекта широко употребляются термины «проблема» и «проблемная ситуация». Однако соотношение обозначаемых ими понятий определяется по-своему едва ли не каждым автором. Весьма велики различия и в трактовке смысла каждого из этих терминов.

По-разному определяется также соотношение между понятиями задачи и задания. В то время как дидакты и методисты обычно рассматривают задачу как специфический вид задания, психологи, напротив, склонны считать задание частным видом задачи (согласно Е. И. Машбицу, это такая задача, где цель задается как требование к субъекту, например «выучить то-то»).

Наконец, во многих контекстах термин «задача» употребляется как синоним термина «цель».

Положение усложняется еще и вследствие отнюдь не полного совпадения смысла терминов, принятых в разных языках. Такое несовпадение неизбежно хотя бы потому, что в русском языке существуют три простых термина («задание», «задача», «проблема») для обозначения того же круга объектов, которому в большинстве европейских языков соответствуют по два простых термина («task» и «probleme» – в английском, «tache» и «probleme» – во французском, «Aufgabe» и «Problem» – в немецком и т. п.). Естественно, что разные переводчики по-разному переводят идентичные термины оригинальных работ, что усиливает терминологическую путаницу.

Приведенный ниже материал настоящей работы посвящен исследованию задач. Однако, вводя в рассмотрение различные их типы, а также рассматривая «задачные ситуации» и знаковые модели задач, мы постараемся учесть ряд важных аспектов содержания, вкладываемого разными авторами не только в термин «задача», но и в другие, перечисленные выше.

Исследуя понятие задачи, мы сможем в настоящем разделе дополнить данную ранее характеристику понятий, описывающих функционирование активных систем. Говоря конкретнее, мы сможем – в дополнение к рассмотренным ранее понятиям «воздействие» и «операция» – рассмотреть понятие целенаправленного действия, тесно связанное с понятием задачи.

1.3.1. Задача как система особого рода

Из множества возможных в принципе состояний различных предметов выделим их *требуемые* состояния. Тот факт, что некоторые состояния являются требуемыми, может обуславливаться потребностями и желаниями субъекта, социальными нормами, указаниями лиц, обладающих властью или авторитетом, и т.п.

Состояние, в котором находится предмет и из которого может или должен быть осуществлен его переход в требуемое состояние, естественно назвать *исходным* состоянием этого предмета.

Приведем простейшие примеры. Груз находится на станции А (исходное состояние), а должен быть доставлен на станцию Б (требуемое состояние). Числовое значение некоторой величины неизвестно (исходное состояние), а должно быть найдено (требуемое состояние). Знания робота по определенной теме поверхностны (исходное состояние), а должны быть значительно глубже (требуемое состояние). **Всякий предмет (будь то материальный, как упомянутый выше груз, или идеальный, как знания робота), для которого могут быть указаны не совпадающие друг с другом исходное и требуемое состояния, будем называть *предметом задачи*.** Рассмотрим следующий «контрпример». Пусть некоторое твердое тело (например, деталь какого-либо механизма), занимающее в данный момент определенное положение в пространстве, должно в течение указанного времени (например, в течение всего цикла работы этого механизма) удерживаться в этом положении. Кажется бы, исходное и требуемое состояния этого тела совпадают, и, следовательно, его нельзя считать предметом задачи. Но такой вывод основывается на неполной характеристике исходного и требуемого состояний рассматриваемого тела. В действительности его исходное состояние характеризуется не только тем, что оно в данный момент занимает определенное пространственное положение, но также и тем, что сохранение этого положения в течение определенного предстоящего периода времени не обеспечено. В отличие от этого требуемое состояние рассматриваемого тела характеризуется тем, что такое сохранение обеспечено. Таким образом, требуемое состояние указанного тела отличается от исходного, так что это тело вполне может рассматриваться как предмет задачи.

Конечно, об удержании некоторого состояния предмета имеет смысл говорить не только тогда, когда требуется сохранение пространственного положения тела. В работе В. Лукашевского подробно рассмотрены особенности двух типов активности человека.

В первом случае она «носит охранный характер (удержание или восстановление предыдущего состояния)», а во втором – «инновационный характер – человек стремится изменить существующее положение вещей». Задачи, разумеется, решаются в обоих случаях.

Теперь дадим общее определение задачи.

Задача, в самом общем виде – это система, обязательными компонентами которой являются:

а) предмет задачи, находящийся в исходном состоянии (или, как мы будем часто говорить в дальнейшем, *исходный предмет задачи*);

б) модель требуемого состояния предмета задачи (эту модель мы отождествляем с *требованием задачи*).

Для обозначения задачи, рассматриваемой в качестве такого рода системы (см. схему на рис. 1), будем иногда пользоваться термином «заданная система».

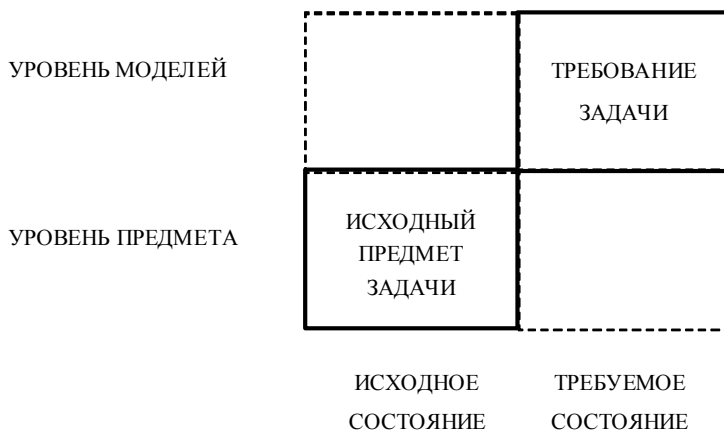


Рис. 1

Обратим внимание на то, что в данном выше определении указаны обязательные компоненты задачи (задачной системы), а значит, отнюдь не исключается наличие в ее составе и иных компонентов.

Введенное понятие задачи является весьма широким. Оно в равной мере пригодно для задач, рассматриваемых в разных отраслях психологии, а также в педагогике, социологии, нейрофизиологии, кибернетике. **Вместе с тем оно четко указывает специфику систем, представляющих собой задачи.**

Как известно, в психологии распространена **трактовка задачи как совокупности цели субъекта и условий, в которых она должна быть достигнута**. Эту трактовку (в системе психологической науки весьма широкую) можно рассматривать как одну из интерпретаций описанного выше общего понятия задачи. В самом деле, описывая предмет задачи, исследователь вправе включить в него все, что он считает существенным из «условий, в которых дана цель». Часть таких условий может быть включена в состав требования задачи (например, ограничения по стоимости в задачах принятия решений в народном хозяйстве. Что касается самой цели, то в трудах Н. А. Бернштейна была обоснована ее трактовка как «модели потребного будущего».

Задачу, рассматриваемую в качестве системы, следует отличать от *задачной ситуации* – некоторой совокупности объектов, допускающей системное представление в виде задачи, но еще не получившей такого представления. Задачная ситуация имеет место, в частности, когда «стремление к какой-то цели встречает преграду, препятствие и возникает потребность преодолеть это препятствие, чтобы тем самым осуществить намеченную цель». (Мы процитировали Л. М. Фридмана, который пользуется термином «проблемная ситуация».)

От задачи мы считаем необходимым отличать также ее **знаковую модель**. Частным видом последней является словесное описание задачи, которое мы будем называть также *формулировкой задачи* или *задачной формулировкой* (формулировку задачи часто называют также *условием задачи*). Не менее часто, однако, последний термин употребляется для обозначения некоторой части задачной системы или формулировки задачи, причем вопрос о том, какой именно ее части, решается по-разному разными авторами – достаточно сравнить высказывания на этот счет, принадлежащие Д. Пойа, А. В. Брушлинскому, И. Я. Лернеру.

Приведем простейший пример заданной формулировки:

«Сундук весом 60 кг находится на первом этаже. Требуется поднять его на пятый этаж».

Обратим внимание на следующее. В задаче как таковой (задачной системе – см. рис. 1) исходное и требуемое состояния предмета задачи представлены принципиально различным образом: первое – как реально существующее, второе – как модель. В отличие от этого в формулировке задачи оба состояния представлены посредством моделей (словесных описаний).

Введем еще понятие *псевдозадачной формулировки*. Так будем называть текст, который внешне напоминает формулировку задачи, но в действительности не является ею, поскольку не

описывает никакой задачной системы. Приведем пример псевдозадачной формулировки (он заимствован у Л. М. Фридмана):

«Даны числа $\sqrt{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{0}{0}$, $\frac{0}{1}$, $\lg 5$, -5 . Какие из этих чисел

рациональные?». Здесь элемент $\frac{0}{0}$ не существует (как число), а значит, приведенная формулировка внутренне противоречива и, стало быть, нет оснований ставить ей в соответствие какую-либо задачную систему. (Нашим терминам «задачная формулировка» и «псевдозадачная формулировка» соответствуют термины Л. М. Фридмана: «правильная (правильно поставленная) задача» и «неправильная (неправильно поставленная) задача»).

Одной задаче могут соответствовать различные знаковые модели. Так, например, тексты «Требуется решить уравнение $x^2-x+1=0$ » и «Найдите корни уравнения $y^2-y+1=0$ » имеют тождественный нормативный смысл (как принято говорить, они синонимичны), и их можно рассматривать как модели одной и той же задачи.

1.3.2. Решение задачи. Решатель. Средства решения задач

Под решением задачи мы понимаем воздействие на предмет задачи, обуславливающее ее переход из исходного состояния в требуемое. Решенная задача, т. е. задача, предмет которой приведен в требуемое состояние, перестает быть задачей. Воздействующую систему, которая обеспечивает решение задачи, в кибернетике называют решателем; мы также будем пользоваться этим термином. В качестве решателей выступают животные, люди, коллективы людей, технические устройства, человеко-машинные системы и т. п. В настоящей работе нас интересует почти исключительно решение задач искусственным интеллектом (в особенности осуществляемое в ходе учения и обучения объектов искусственного интеллекта).

Решатель может быть охарактеризован совокупностью *средств решения задачи*, находящихся в его распоряжении. К ним относятся операторы, которыми располагает решатель, а также привлекаемые им операнды, дополнительные к тем, которые имеются в предмете задачи. (Ср. у Т. Гергея и Е. И. Машбица: «В процессе решения задачи человек... использует не только те объекты, которые даны в задаче, но

и другие: идеальные – знания и реальные – орудия труда, машины, устройства и т. д. Эти идеальные и реальные объекты, которые не входят в задачу, но привлекаются для ее решения, выступают как средства решения задачи»). Средства решения подразделяются на *внутренние* (входящие в состав решателя) и *внешние* (не входящие в его состав, но используемые им).

В рамках различных теоретических дисциплин оказывается полезным исследование *идеализированных решателей*, которые вводятся в рассмотрение как системы четко охарактеризованных средств решения задач. Для идеализированных решателей характерно, как правило, выполнение эффективных операций.

Задачи могут исследоваться как с учетом характеристик решателей, так и в абстракции от них. В дальнейшем задачу (задачную систему), рассматриваемую безотносительно к какому бы то ни было решателю, будем обозначать одной прописной латинской буквой (чаще всего *M*). Если же эта задача рассматривается по отношению к некоторому решателю (скажем, *Q* или *R*), то обозначение задачи будем снабжать соответствующим индексом: m_q , m_r и т. п.. При этом будем говорить, что задача *отнесена* к решателю *Q* (или к решателю *R* и т. п.), и употреблять термин «отнесенная задача». Задачу же, рассматриваемую в абстракции от решателя, будем называть *неотнесенной*.

Следует учесть, что при рассмотрении отнюдь не любых задач возможно абстрагирование от характеристик решателей. Оно невозможно, в частности, если предмет задачи совпадает с решателем (как, например, в задачах самообучения), является его подсистемой (скажем, когда коллектив обучает своего члена) или, напротив, содержит его в своем составе. Последний вариант имеет место, например, когда спортсмен решает задачу, требование которой состоит в том, чтобы добиться победы своей команды над командой-соперником; предмет задачи охватывает в этом случае обе команды.

Если задачи рассматриваются по отношению к определенному решателю (или решателю определенного типа), то при воссоздании задачных систем по их знаковым моделям следует учитывать не нормативный смысл последних, а их смысл для этого решателя. Нужно учитывать также, что по ходу решения этот смысл может изменяться.

Как пишут Д. Озбел и Ф. Робинсон, рассматривая решение задач учащимися, формулировка задачи первоначально является «лишь потенциально осмысленной. Если учащийся обладает релевантными фоновыми знаниями ... он сможет соотнести образующее задачу высказывание (problem-setting proposition) со своей когнитивной структурой и понять благодаря этому характер стоящей перед ним

задачи (problem). Учащийся, обладающий опытом в данной области, будет способен непосредственно воспринять смысл данного суждения; неопытный учащийся должен будет пройти через более развернутый процесс идентификации смысла отдельных понятий и установления на этой основе смысла суждения в целом».

Ранее упоминалось о синонимичных знаковых моделях задач. Внесем теперь уточнение в трактовку этого вопроса. Из того, что две знаковые модели задач имеют один и тот же нормативный смысл, вовсе не следует, что они обязательно будут обладать одинаковым смыслом для воспринимающего их субъекта. Так, в экспериментах Н. С. Мансурова сопоставлялись синонимичные с точки зрения математики знаковые модели задач: « $1+2+3+4+5+6=?$ » и « $1+2+\dots+5+6=?$ ». Выяснилось, что задача, представленная во втором виде (в отличие от представленной в первом), «решается преимущественно не путем подсчета, а как прогрессия. Следовательно, изменение внешнего вида задачи привело при восприятии к «включению» иных связей, чем в первом варианте наглядного оформления, в результате чего происходило иное ее осмысление и решение».

Напомним тексты, которые были приведены ранее в качестве примеров синонимичных формулировок: «Требуется решить уравнение $x^2 - x + 1 = 0$ » и «Найдите корни уравнения $y^2 - y + 1 = 0$ ». Теперь уточняем: эти тексты обладают одинаковым смыслом для человека, знающего элементарную алгебру. Но они вполне могут нести разный смысл для того, кто еще только изучает ее.

1.3.3. Способы и процессы решения задач

Способом решения задачи t_q уместно считать всякую процедуру, которая при ее осуществлении решателем Q может обеспечить решение этой задачи. Таким образом, нельзя говорить о способе решения задачи, не учитывая характеристик решателя (индивидуального или родового, реального или идеализированного).

Способ решения задачи, представляющий собой алгоритмическую или квазиалгоритмическую процедуру, будем называть соответственно *алгоритмическим* или *квазиалгоритмическим способом решения*.

Способ решения задачи как таковой нужно отличать от его модели, имеющейся в решателе и относящейся к числу средств решения задач. Такой модели может быть поставлена в соответствие некоторая система операторов. Говоря, что решатель обладает (владеет) моделью способа решения задачи, мы имеем здесь в виду,

что такая модель хранится в памяти решателя и при этом функционирует таким образом, что предусматриваемый ею способ решения может быть осуществлен. (Последнее отнюдь не самоочевидно. Так, например, обучающий может знать правило, но не уметь применить его.)

Психологически владение моделями способов решения задач может выражаться различным образом. В частности, содержание такой модели может осознаваться, а может и не осознаваться человеком.

Среди способов решения задач выделяются *нормативные (эталонные)*. Такие способы (в их соотношении с реально используемыми) анализировались А. Н. Соколовым, Г. П. Щедровицким и другими исследователями. Нормативные способы решения задач не зависят от свойств отдельных индивидов, но при установлении норм следует учитывать возможности контингента индивидов, которые должны решать задачи данного класса.

Нередко для одной и той же задачи может быть указано несколько нормативных способов. Так, Е. А. Шишкин приводит семь способов решения одной химической задачи с использованием разных математических приемов, а в какой-то степени и разных химических понятий. Как резонно замечает автор, знание важнейших способов решения необходимо обучающему, в частности, «для того, чтобы быть справедливым к тем обучаемым, которые решают... задачу правильно, но не так, как объяснял обучающий. При этом важно всегда отметить наиболее рациональный путь решения».

Прокомментируем теперь положение (высказываемое, в частности, Е. П. Иваницыной в связи с характеристикой процессов решения геометрических задач) о необходимости различать понятие «способ решения задачи» (как в данном случае математическое) и психологическое понятие «способ мышления». **С нашей точки зрения, «способ мышления» также может рассматриваться как способ решения задачи. Но конечно, способы решения задачи, обсуждаемые в математическом и в психологическом исследованиях, – это разные вещи.**

Прежде всего, задачи, о которых идет речь (вполне возможно, при идентичных формулировках), отнесены к решателям разного типа. В первом случае рассматриваемая задача отнесена к идеализированному решателю, охватывающему, скажем, средства евклидовой геометрии или какого-либо ее раздела, а также некоторые средства логики и, возможно, арифметики, алгебры и других дисциплин. Во втором случае решателем, к которому отнесена задача, является человек, в большей или меньшей степени владеющий перечисленными средствами. Различен и состав операций, из которых

строятся обсуждаемые в математическом и психологическом исследованиях способы решения задачи. Конечно, если человек овладел или должен овладеть средствами решения задач, предоставляемыми, например, некоторым разделом евклидовой геометрии, то в способ решения задачи, отнесенной к этому человеку, могут входить геометрические операции (вообще – операции, соответствующие операторам, имеющимся в рассматриваемом идеализированном решателе). Но характер таких операций при этом изменяется. В частности, эффективным операциям, реализуемым идеализированным решателем, соответствуют (в лучшем случае) квазиэффективные операции, реализуемые человеком. Вместе с тем в состав способа решения задачи, отнесенной к человеку, входят также операции, обеспечивающие ориентировку в ситуации (анализ предмета задачи), планирование последующих операций и т. п.

С понятием способа решения тесно связано понятие *процесса решения задачи*. Часто **процесс решения задачи может быть описан как реализация некоторого способа решения**. В общем случае **процесс решения задачи m_q можно определить как фрагмент функционирования решателя Q , осуществляемый им при решении задачи M или с целью ее решения**. При описании процесса решения задачи **учитываются не только осуществляемые решателем операции сами по себе (как это имеет место при описании способа решения)**, но также временные и энергетические затраты на их осуществление, равно как и другие явления, сопровождающие оперирование или представляющие собой его свойства.

Общее понятие процесса решения задачи приобретает специфическую конкретизацию в рамках разработанной С. Л. Рубинштейном и А. В. Брушлинским концепции психического как процесса. В этой концепции принимается, что «каждая следующая стадия процесса вырастает из предыдущей, являющейся ее внутренним условием, и поэтому все стадии неразрывно (недизъюнктивно) связаны между собой генетически». При этом особо подчеркивается, что процессуальный аспект мыслительной (да и любой иной) деятельности субъекта не сводится к операционному.

1.3.4. Отношения между задачами. Информация, относящаяся к решению задачи

В специфическом отношении к задаче m_q находится *задача* (неотнесенная или отнесенная) *нахождения способа ее решения*. Это понятие требует некоторых комментариев.

Во-первых, вовсе не обязательно, чтобы задача нахождения способа решения для задачи m_q решалась системой Q . Так, например, человек составляет программу, в соответствии с которой компьютер осуществляет решение задачи.

Во-вторых, нахождение способа решения задачи (если решатель не владеет им заранее) играет настолько важную роль, что понятия «решение задачи» и «нахождение способа решения задачи» часто отождествляются. Так, в переводе книги М. Доналдсон читаем: «Решение проблемы – любой проблемы – заключается в раскрытии способа, с помощью которого можно привести существующее положение дел в желательное, пока еще не имеющее места состояние». При всей распространенности и внешней привлекательности такого подхода, казалось бы, фиксирующего внимание на существе дела, мы не считаем возможным взять этот подход на вооружение, поскольку, сменивая принципиально разные вещи, он затруднил бы углубленное раскрытие интересующих нас вопросов.

Укажем еще одно важное отношение между задачами.

Отнесенную задачу n_q называют *подзадачей* отнесенной задачи m_q , если способ решения задачи n_q входит в способ решения задачи m_q (является его подсистемой).

Приведем пример из книги Д. Пойа: «При вычислении объема усеченной пирамиды нам пришлось находить объем полной пирамиды, затем еще одной полной пирамиды, затем длину отрезка».

Здесь задачи по нахождению объема первой полной пирамиды, по нахождению объема второй полной пирамиды и по нахождению длины отрезка выступают в качестве подзадач основной задачи по нахождению объема усеченной пирамиды.

Теперь, используя понятия, введенные ранее, а также выше в настоящем параграфе, мы можем уточнить характеристику задачной системы. **Помимо исходного предмета задачи и ее требования в состав задачи (задачной системы) может входить одна или большее число моделей, несущих информацию, которую мы будем называть информацией, относящейся к решению задачи.** Это может быть, в частности, информация об изменениях предмета задачи, посредством которых осуществляется его переход из исходного состояния в требуемое, о подзадачах данной задачи, о средствах и о способе ее решения. При этом, например, средства решения задачи могут указываться как рекомендуемые или как обязательные или, напротив, их использование может запрещаться. Часто накладываются также ограничения на допустимую продолжительность решения. В формулировке задачи (или в инструкции, относящейся к целой группе задач) информация, о которой мы ведем здесь речь, выражается

обычно с помощью отдельных предложений, представляющих собой *указания по решению задачи*. Например: «Решить уравнение $x^3 + x^2 - 6x = 0$. (Целесообразно прежде всего разложить левую часть на множители)». Вместе с тем не всегда информация, относящаяся к решению задачи, четко выделена в ее формулировке. И если, скажем, указывается, что в формулировке научной проблемы «содержатся предварительные подходы к ее решению», то информация о таких подходах, быть может, формально неотделяемая от описания предмета задачи и ее требования – тоже информация, относящаяся к решению задачи. Вспомним примеры знаковых моделей задач, приведенные ранее: « $1+2+3+4+5+6=?$ » и « $1+2+ \dots +5+6=?$ ». Отнесенные к решателю-человеку задачи, выраженные с помощью этих моделей, отличаются именно имплицитно представленной в них информацией, относящейся к решению задачи.

1.3.5. Целенаправленные действия. Соотношение действий и задач

Термин «действие» употребляется в разных смыслах. Часто его применяют для обозначения событий, описываемых в этой работе под названием воздействий и операций. В отличие от этого **мы будем пользоваться им только по отношению к действиям, являющимся в том или ином смысле целенаправленными**.

Пусть в некоторой активной системе Q существуют или формируются, во-первых, модель актуального состояния (здесь предпочтительнее использовать термин «актуальное состояние» (а не «исходное», как приведенный ранее), поскольку рассматриваемое состояние изменяется в процессе действия некоторого предмета A (мы называем ее *отображающей*) и, во-вторых, модель его требуемого состояния, иначе говоря, требование некоторой задачи, предметом которой служит A (последнюю модель мы называем *целевой*). Пусть, далее, система Q оказывает на предмет A воздействие W . **Мы называем его действием** (а систему Q – *действующей системой* и предмет A – *объектом действия*), если это воздействие обладает указанными ниже **особенностями**.

Первая из них состоит в том, что целевая модель (точнее, **рассогласование между нею и отображающей моделью**) участвует в причинной детерминации действия. В связи с этим отметим необходимость разграничения двух следующих понятий. Одно из них описывает целевую модель как таковую, иначе говоря, как требование некоторой задачи. Такая модель может входить в состав активной

системы, но не обязательно участвует в детерминации тех или иных осуществляемых ею действий. В отличие от этого второе понятие, являющееся видовым по отношению к первому, охватывает только те целевые модели, которые в такой детерминации участвуют. Состояние, информацию о котором несет модель этого рода, не только является требуемым (должным), но действующая система настроена на его достижение именно посредством данного действия (что предполагает, помимо прочего, соответствующее энергетическое обеспечение).

Воспользовавшись термином, широко используемым в психологии, можно выразить последнюю мысль и так: **целевая модель как детерминанта действия обладает побудительной функцией.** Последняя находит выражение как в инициации действия, так и в поддержании его протекания, вплоть до достижения требуемого результата (к анализу этого эффекта привлекается понятие целевой установки). **Осознаваемые цели**, имеющие побудительную функцию, описываются под названием *намерений*. Рассматриваемый вопрос имеет прямое отношение к функционированию искусственного интеллекта. Много ли стоит модель «сделать ребенка счастливым», если она не воплощается в конкретных намерениях и действиях? Итак, мы обсудили первую отличительную особенность действия, касающуюся, как мы видели, его детерминации. Перейдем теперь ко **второй особенности. Она касается способа действия, т. е. процедуры его осуществления.** Способ действия (если он описывается как некоторая закономерность, а не как конкретный факт (в последнем случае мы говорим о реализации способа действия)) можно представить с помощью блок-схемы, изображенной на рис. 2; эта схема составлена на основе обобщения многочисленных схем действий, приводимых в психологической, нейрофизиологической, кибернетической литературе.

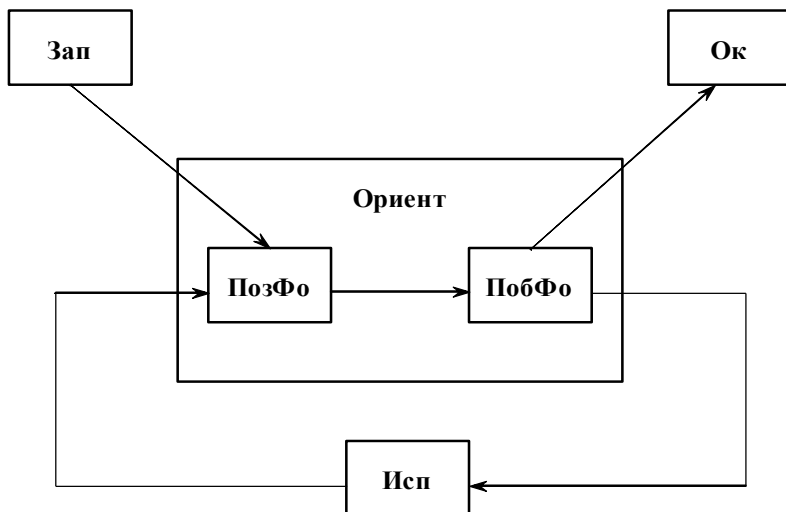


Рис. 2

Линии со стрелками идут на рис. 2 от компонентов способа действия, которые осуществляются раньше, к компонентам, которые осуществляются (или могут осуществляться) позже.

Расшифруем обозначения, использованные на схеме.

Зап («запуск») – это событие, которое, не входя в рассматриваемую систему операций (способ действия), служит причиной того, что это действие начинается. Запускающим событием может быть, в частности, операция, осуществленная как системой *Q*, так и какой-либо другой активной системой (Н. А. Бернштейн проводил классификацию действий в зависимости от роли, которую играет в их детерминации внешний пусковой сигнал. Эта роль максимальна в случае рефлекса и минимальна в случае произвольного действия).

ПозФо («познавательная фаза ориентировки») – процедура, основная функция которой заключается в формировании *сигнала рассогласования*, т. е. модели, несущей информацию о различии между актуальным и требуемым состояниями предмета *A* или об отсутствии такого различия. Познавательная фаза ориентировки может выполнять и такие функции, как формирование или изменение в том или ином отношении отображающей и целевой моделей предмета *A*, а также формирование моделей, несущих информацию о возможных путях

преодоления рассогласования между актуальным и требуемым состояниями этого предмета.

ПобФо («побудительная фаза ориентировки») – операция или процедура, основная функция которой состоит в настройке действующей системы на осуществление тех или иных последующих операций (сознательно осуществляемый действующим субъектом выбор из заранее известных ему альтернатив является специфическим частным случаем).

Разумеется, *ПобФо* не принадлежала бы к ориентировке не обладай она также и познавательной функцией. Точными (но менее удобными) были бы термины: «чисто познавательная фаза ориентировки» вместо *ПозФо* и «познавательно-побудительная фаза ориентировки» вместо *ПобФо*. *ПозФо* и *ПобФо* примерно соответствуют введенным Т. Гергеем и Е. И. Машбицем понятиям «собственно ориентировка» и «ориентировка на исполнительную часть способа действия».

Один из возможных результатов операции или процедуры *ПобФо* состоит в прекращении оперирования или переходе к операции *Ок*. В случае реализации какой-либо иной возможности *ПобФо* может обеспечивать также формирование *плановой модели*, т. е. такой модели операции или процедуры *Исп* (см. ниже), которая первична по отношению к ней и участвует в ее детерминации.

Исп («исполнение») – это операция или процедура, которая обеспечивает или должна обеспечить переход предмета *A* из актуального состояния в требуемое. Здесь может возникнуть недоумение: ведь о способе действия, взятом в целом, также можно сказать, что он обеспечивает (или должен обеспечить) такой переход. Эта трудность преодолевается так: исполнительные операции переводят (или должны переводить) предмет *A* из актуального состояния в требуемое при условии, что действующая система подготовлена к осуществлению такого перевода; операции, предшествующие исполнению в способе действия, обеспечивают соответствующую подготовку.

Ок («окончание») – это операция, обеспечивающая формирование сигнала об окончании действия (она в принципе может и отсутствовать).

Блоки способа действия, выделенные на рис. 2, – это его *функциональные части* (данный термин заимствован у Т. Гергея и Е. И. Машбица; Н. Ф. Гальзина пользуется понятием «функциональные части действия»). Основными функциональными частями способа действия являются, с одной стороны, упомянутое выше *исполнение*, или исполнительная часть способа действия, и, с другой стороны,

ориентировка, или ориентировочная часть способа действия. На рис. 2 ориентировке соответствует блок, обведенный жирной линией и обозначенный символом *Ориент*.

Помимо ориентировочной и исполнительной частей действия или способа действия упомянутые выше авторы выделяют его контрольную часть. Мы считаем более правильным говорить о контроле как об одной из функций ориентировочной части способа действия. В заключительной реализации ориентировки ее контрольная функция выступает наиболее наглядно ввиду исчерпания или сведения к минимуму прочих функций.

Отсутствие достаточных оснований для выделения в способе любого действия самостоятельной «контрольной части» несколько не противоречит важности формирования специальных «действий контроля и оценки», как и, вообще, тому, что достаточно крупные задачи, решаемые в ходе деятельности, включают в себя явно зафиксированное в их формулировках (либо в общей инструкции к группе задач) или же подразумеваемое указание, согласно которому решение задачи считается завершенным лишь при условии, что субъект убедился в том, что она действительно решена (требуется не только получить результат, но и проверить его правильность).

Структура познавательной и побудительной фаз ориентировки на рис. 2 не раскрыта: эта структура может быть и простой, и весьма сложной. В частности, в случае так называемой активной ориентировки ее познавательная фаза включает в себя систему операций, изоморфную той, которая представлена на рис. 2, взятом в целом, но отличающуюся тем, что входящее в эту систему «исполнение» является не «настоящим», а осуществляется на модели – «в плане образа». Как отмечает П. Я. Гальперин, «только на основе такого примеривания действия в плане образа... возможно его приспособление к единичным одноразовым особенностям условий поведения». Высший уровень активной ориентировки обеспечивается человеческим сознанием, позволяющим «проигрывать на моделях» события, сколь угодно удаленные в пространственном, временном и содержательном отношении от непосредственно воспринимаемых ситуаций. А это позволяет, не ограничиваясь приспособлением к таким ситуациям, овладевать все более широкой действительностью.

Перейдем к рассмотрению *реализаций способа действия*. Каждая такая реализация всегда начинается с ориентировочной части и ею же оканчивается (если не считать операции *Ок*). Функция последней реализации познавательной фазы ориентировки сводится при этом к контролю достижения цели действия. Если исполнительная часть способа действия повторяется *n* раз, то ориентировочная часть

повторяется $n+1$ раз. В предельном случае $n = 0$, т. е. реализация способа действия не содержит исполнительной части: так обстоит дело, если первая же реализация ориентировки приводит к выбору пути, ведущему к операции *Ок*. В этом случае, говоря словами П. Я. Гальперина, «предметное содержание действия же не выполняется, а только «имеется в виду» за пределами того, что фактически делается». Итак, реализация способа действия (нередко – оптимальная в конкретной ситуации) может не содержать исполнительных операций. Это касается, в частности, способов осуществления *поступков*, т. е. таких действий, в которых «ведущее значение имеет сознательное отношение человека к другим людям... и нормам общественной морали». Мы процитировали С. Л. Рубинштейна, отметившего также, что «в некоторых случаях воздержание от участия в каком-нибудь действии само может быть поступком с значительным резонансом, если оно выявляет позицию, отношение человека к окружающему».

Введенное выше понятие **действующей системы**, а также понятия об **отображающих, целевых и плановых моделях** требуют некоторых комментариев. Диапазон объектов, к которым применимо понятие действующей системы, весьма широк. В качестве такой системы может рассматриваться и отдельный человек (в действии-поступке действующей системой служит личность) или животное, и коллектив людей, и организация (производственная, политическая и т. п.), и самые различные биологические, технические и человеко-машинные системы, удовлетворяющие приведенному выше определению действующей системы.

Широкой трактовке понятия действующей системы соответствует столь же широкая трактовка понятий об отображающих, целевых и плановых моделях. Для обозначения их осознаваемых форм безоговорочно применимы термины «образ», «цель» и «план». Вопрос об их применимости к неосознаваемым формам этих моделей вызывает непрекращающиеся споры. С нашей точки зрения, дело не в используемых терминах, а в необходимости учитывать как специфические свойства осознаваемых образов, целей и планов, так и все то, что роднит эти феномены с неосознаваемыми формами соответствующих моделей. Следует помнить также о наличии разных уровней осознания, равно как и о том, что для **формирования сознания** необходим определенный уровень развития **целенаправленных действий**.

Важными характеристиками действий являются их **результаты**, т. е. те состояния различных материальных и идеальных предметов, в которых они оказались вследствие

осуществления этих действий. По отношению к *успешным действиям* (т. е. таким, цели которых достигаются) оказывается полезным различие их *прямых результатов* (тех, достижение которых предусматривается целями действий) и всех прочих – *побочных* – результатов (используются также термины «прямой продукт действия» и «побочный продукт действия»). Это различие важно с психологической точки зрения: результат, предусмотренный в осознаваемой цели действия, с большей вероятностью, чем другие результаты, осознается субъектом, лучше запоминается им и в большей мере влияет на его дальнейшую деятельность.

Выделение функциональных частей в способах действий и различие прямых и побочных результатов действий весьма существенны для исследования и построения процесса обучения объектов искусственного интеллекта. Эффективность и развивающие возможности последнего во многом определяются тем, какие функциональные части способов формируемых действий служат основными объектами отработки. Точнее говоря, они зависят от того, каким из упомянутых функциональных частей соответствуют в основном цели (а значит, и прямые результаты) действий, осуществляемых в процессе обучения. Подавляющее большинство используемых ныне учебных заданий (требующих, например, нахождения ответа на вопрос математической задачи, запоминания тех или иных сведений и т. п.) нацелено на отработку исполнительных частей способов действий. **Важный резерв усовершенствования обучения состоит в увеличении удельного веса заданий, обеспечивающих отработку ориентировочных частей указанных способов.**

Как уже отмечалось, понятие действия (целенаправленного) существенным образом связано с понятиями «задача» и «решение задачи». В самом деле, в детерминации всякого действия участвует **целевая модель, т. е. требование некоторой задачи, решаемой действующей системой.** Мы говорим в таком случае, что указанное действие *направлено на решение* этой задачи (последнее достигается, если действие оказывается успешным).

При характеристике соотношения между действиями и задачами следует учитывать, что в случае сколько-нибудь развитых действующих систем (в том числе, конечно, в человеческой деятельности) те и другие имеют иерархическое строение. **Решение достаточно сложной задачи достигается при этом путем осуществления системы действий, каждое из которых направлено на решение некоторой подзадачи этой задачи.**

Если фрагмент функционирования действующей системы, соответствующий определенной функциональной части способа рассматриваемого действия, сам может быть описан как действие, то в способе этого последнего действия в свою очередь можно выделить функциональные части. Отсюда вытекает важное **следствие**: **одни и те же фрагменты поведения могут относиться к различным функциональным частям способа действия в зависимости от того, в системе какого действия они рассматриваются.** И поэтому, например, одна и та же операция может входить в исполнительную часть способа действия по нахождению причины неисправности какого-либо прибора и одновременно в ориентировочную часть способа более сложного действия по устранению неисправности, охватывающего первое действие. Выше отмечалась принципиальная важность отработки в процессе обучения ориентировочных частей формируемых способов действий. Учитывая, однако, иерархию действий, следует вести речь о **формировании иерархической многоуровневой структуры ориентировки.**

1. 4. Основные типы задач

Приступая к рассмотрению некоторых важнейших типов задач, отметим, что такие типы могут выделяться:

1) на основании учета только структурных свойств задач (задачных систем) – эти типы могут быть установлены уже при рассмотрении задач как неотнесенных, т. е. в абстракции от характеристик решателей;

2) на основании учета наряду со структурными также и функциональных свойств задач – эти типы устанавливаются только для отнесенных задач.

1.4.1. Типы задач, устанавливаемые безотносительно к свойствам решателя

В этом пункте мы рассмотрим типы задач, выделяемые в соответствии с первым из названных только что принципов, или, конкретнее говоря, в соответствии со свойствами предмета задачи, а также отношениями, существующими между этим предметом и требованием задачи.

Прежде всего обратим внимание на то, что исходный предмет задачи, как и предмет вообще, может быть индивидуальным и родовым (любым из некоторого класса индивидуальных предметов). В зависимости от этого имеет смысл различать *индивидуальные* задачи и

родовые, каждой из которых соответствует некоторый класс индивидуальных задач.

Сопоставим введенные понятия индивидуальной родовой задач с математическими понятиями единичной и массовой проблем. С этой целью обратимся к примеру, приводимому А. А. Марковым. «Можно, например, интересоваться, – пишет он, – единичными проблемами о взаимной простоте каких-нибудь двух заданных натуральных чисел. Каждая из этих проблем формулируется как вопрос: «Являются ли данные натуральные числа M и N взаимно-простыми?» Массовая проблема, соответствующая классу этих единичных проблем, будет состоять в разыскании единого общего конструктивного метода, позволяющего узнавать для любых двух данных натуральных чисел M и N являются ли они взаимно-простыми».

Очевидно, что «единичная проблема», по А. Маркову, вполне подходит под наше понятие индивидуальная задача». Но «массовая проблема», по А. А. Маркову, является, в наших терминах, задачей нахождения способа (точнее, алгоритма) решения для некоторой родовой задачи. **В рамках общей теории задач и ее применений имеет смысл говорить о родовых задачах не только в тех случаях, когда может быть предложен алгоритм, обеспечивающий решение любой задачи данного класса.** Об ориентации на родовые задачи фактически идет речь и там, где «анализ условий и требований одной задачи данного класса позволяет человеку выявить *общий принцип* решения всех задач этого класса...» (таким образом характеризуется так называемый теоретический способ решения задач). Обращаясь к задачам, решаемым обучающими, следует сказать, что и здесь важно исходить из общих принципов решения задач определенных классов, и наука искусственного интеллекта должна стремиться к большей конкретности в разработке таких принципов. Вместе с тем обучающий должен творчески решать каждую индивидуальную задачу, стремясь при этом к возможно более полному учету специфических особенностей каждого объекта искусственного интеллекта, каждой ситуации. Продолжая рассмотрение типов задач, определяемых характером предмета задачи, сопоставим следующие два случая.

В первом случае предмет задачи материален и к тому же не выступает в функции модели. Задача решается с тем, чтобы обеспечить некое сугубо материальное свойство этого предмета (нахождение в указанном месте, определенную конструкцию, химический состав и т. п.).

Во втором случае предметом задачи является некоторая модель какой-либо моделируемой системы (ее описание, изображение, образ и

т. п.). Задача решается с тем, чтобы обеспечить требуемые характеристики информации, которую данная модель несет о моделируемой системе.

В дальнейшем будем называть задачи первого из рассмотренных типов *материально направленными*. а задачи второго типа – *информационными*.

В системах искусственного интеллекта процессы решения задач обоих этих типов тесно переплетаются. Так, разработка проектов (представляющих собой своеобразные модели будущих изделий и сооружений) необходима для решения задач материального производства в промышленности и строительстве. А, скажем, изготовление таких специфических материальных предметов, как приборы для научных исследований, служит предпосылкой создания научных моделей соответствующей сферы действительности.

В отношении информационных задач следует подчеркнуть, что модель – будь то материальная, материализованная или идеальная – является предметом информационной задачи именно как модель чего-то, т. е. в своей информационной функции.

Обратимся в связи с этим к такому примеру. Скульптурное произведение с точки зрения принятой нами классификации представляет собой материальную модель: известно, насколько важны в этом виде искусства правильный выбор материала и умение использовать его качества. Но разве из этого вытекает, что цель скульптора состоит в приведении, скажем, куска мрамора в некоторое требуемое состояние? Материальные модели обладают помимо специфических свойств общим качеством любых моделей – способностью нести информацию, которая может быть использована, и именно в этом своем качестве они могут быть предметами информационных задач.

Система, моделируемая предметом информационной задачи, сама может представлять собой модель. При решении задач, заданных определенной формулировкой, или, говоря словами Г. П. Щедровицкого, «определенным текстом условий», **такое моделирование модели (иначе говоря, вторичное моделирование)** осуществляется при «переходах от текста к выражениям тех знаковых систем, в которых эти задачи могут быть решены». Л. М. Фридман говорит в этом смысле о переходе от «задачи-описания» к «подлинной задаче», т. е. такой, «которая может быть решена средствами того языка, на котором она изложена». О переходе рассматриваемого типа говорят и применительно к решению исследовательских задач. Так, в числе теоретических методов исследования в педагогике выделяют «метод переформулирования исходных данных и конечных требований

научных задач в той системе новых понятий и представлений, в которой объективно содержится их решение».

1.4.2. Задачи, неразрешимые и разрешимые для определенного решателя.

Рассмотрение информационных задач мы продолжим в следующем разделе, а пока обратим внимание на то, что учет отношений, существующих между предметом и требованием задачи, позволяет подразделить задачи на принципиально неразрешимые и принципиально разрешимые.

Задача является *принципиально неразрешимой*, если в соответствии с закономерностями той области действительности, к которой относится задача, ее решение невозможно, т. е. либо невозможно требуемое состояние предмета задачи, либо хотя оно в принципе и возможно, но невозможен переход к нему из исходного состояния этого предмета. Принципиально неразрешимой является, например, задача построения вечного двигателя или задача оживления умершего человека после наступления необратимых изменений в нервной системе.

Все задачи, не являющиеся принципиально неразрешимыми, естественно называть *принципиально разрешимыми*.

Здесь следует сделать два уточнения.

Во-первых, подчеркнем, что вопрос о принципиальной разрешимости может быть поставлен уже для неотнесенных задач; иначе говоря, он не связан с особенностями тех или иных решателей. Вместе с тем если предмет задачи идеален, то вопрос о том, возможно ли некоторое его состояние или некоторый переход из одного состояния в другое, часто может быть решен различным образом – в зависимости от принятой договоренности. Например, в классической математике возможен переход некоторого множества в состояние, когда количество его элементов оказывается бесконечным, а в интуитивистской или конструктивной математике – невозможен.

Во-вторых, и принципиально разрешимые и принципиально неразрешимые задачи существуют как задачи (задачные системы), и, стало быть, им могут быть поставлены в соответствие некоторые задачные формулировки. Псевдозадачная формулировка не описывает, с нашей точки зрения, какой-либо задачи, и, следовательно, вопрос о разрешимости здесь неуместен.

Сопоставим две формулировки «задач, не имеющих решения», из работы Я. И. Груденова:

«В треугольнике $AЕК$ $\angle A=62^\circ$, $\angle E=75^\circ$, $\angle K=53^\circ$. Вычислить внешние углы треугольника»; (1)

«Вычислить сторону прямоугольника, если его площадь равна 435 м^2 ». (2)

Формулировка (1) является псевдозадачной, так как не может существовать (в евклидовой геометрии) треугольник, сумма углов которого не равна 180° . Что касается формулировки (2), то ее можно считать:

а) формулировкой задачи, имеющей бесконечное множество решений (в математике такие задачи называют неопределенными), если имеется в виду произвольный прямоугольник, обладающий указанной площадью;

б) формулировкой принципиально неразрешимой задачи, если имеется в виду конкретный прямоугольник, площадь которого известна. В самом деле, узнать длину стороны прямоугольника, зная только его площадь, невозможно.

По вопросу о целесообразности использования в обучении псевдозадачных формулировок (и, в частности, такой их разновидности, как «задачи с ложными данными») высказываются разные мнения. Что же касается принципиально неразрешимых задач, то желательность их применения отмечается многими специалистами. При этом обращается внимание на то, что для подготовки к практической, трудовой деятельности «важно, чтобы еще на школьной скамье ученик получил правильное представление о том, что не всякая задача и не при любых условиях... может быть решена».

Родовая задача может быть принципиально разрешимой при одних значениях параметра или параметров, характеризующих ее предмет, и принципиально неразрешимой при других их значениях. Отсюда вытекает, что среди индивидуальных задач, входящих в класс задач, соответствующий этой родовой задаче, имеются как принципиально разрешимые, так и принципиально неразрешимые. Как справедливо отмечает С. М. Чуканцов применительно к сюжетным математическим задачам, полезно, чтобы, обнаружив принципиальную неразрешимость индивидуальной задачи, учащиеся переходили «к введению параметров в условие задачи и решению и исследованию задачи в общем виде».

1.4.3. Четкие, квазичеткие и нечеткие задачи

Понятие отнесенной задачи богаче по содержанию, чем понятие неотнесенной задачи, ибо отражает в себе не только свойства задачной системы, но и некоторые характеристики отношений между задачной

системой и решателем, а также между этими двумя системами и внешней средой. В связи с этим все типы, выделяемые для неотнесенных задач, сохраняют силу и для отнесенных, но, кроме того, типы отнесенных задач могут выделяться и по другим признакам.

В частности, для отнесенных задач сохраняется понятие принципиальной разрешимости (или неразрешимости). Но наряду с ним вводится понятие разрешимости задачи для определенного решателя (того, к которому эта задача отнесена). Отнесенная задача m_q разрешима (для решателя Q), если последний способен осуществить процедуру, которая обеспечила бы решение рассматриваемой задачи, и неразрешима в противном случае. Совершенно ясно, что если решатели Q и R не идентичны, то вполне возможно, скажем, что задача m_q неразрешима, а задача m_r разрешима.

Так, например, разрешимость геометрических задач на построение существенно зависит от набора инструментов, которыми разрешено пользоваться в ходе построения. Скажем, задача «об

удвоении куба, т. е. о построении отрезка длиной $a\sqrt[3]{2}$, где a – длина данного отрезка, не может быть решена с помощью циркуля и линейки, но может быть решена с помощью циркуля и произвольного угла.

В этих рассуждениях следует учитывать, конечно, что в геометрии как математической дисциплине речь идет не о реальных инструментах, используемых в чертежной практике, а о соответствующих им абстракциях («абстрактных инструментах»). Так, например, прямая может быть построена, если она определена двумя точками. Это определение «выражает в абстрактной форме свойство линейки».

С точки зрения системы понятий, принимаемой в настоящей работе, и реальным и абстрактным инструментам соответствуют некоторые операторы, которыми владеет решатель (соответственно реальный или идеализированный).

Подразделение отнесенных задач на разрешимые и неразрешимые (для определенного решателя) – это один из путей их классификации, основывающейся на выяснении соотношения между задачей системой и средствами решения, которыми обладает решатель. Оставаясь в рамках того же направления классификации задач, можно исходить также из характеристик тех моделей способов решения, которые имеются в решателе и входят в число средств решения задач. В связи с этим необходимо дополнить сведения о таких моделях, представленные ранее, а именно ввести понятия об алгоритме решения задачи и квазиалгоритме решения задачи.

Модель способа решения родовой задачи M_Q , представляющую собой алгоритм и обеспечивающую решение любой индивидуальной задачи из класса задач, соответствующего этой родовой задаче, мы называем *алгоритмом решения задачи t_q* (или алгоритмом решения задач указанного класса).

Понятие «алгоритм решения задачи» является видовым по отношению к общему понятию алгоритма, описанному ранее. Это следует специально подчеркнуть, поскольку очень часто различие между этими понятиями не проводится, что исторически вполне объяснимо: алгоритмы издавна разрабатывались и использовались в математике именно как средства решения задач определенных классов. Развитие информатики привело, однако, к необходимости разграничить два понятия алгоритма: более широкое (система правил, по которой совершается определенное преобразование некоторой информации) и более узкое («точное предписание о исполнении в строго установленном порядке определенной системы операций, дающее решение всех задач некоторого класса»).

Смешение общего понятия алгоритма и понятия об алгоритме решения задачи привело в свое время к недоразумениям при оценке так называемых **эвристических программ**, с помощью которых во многих случаях удается решить на цифровых вычислительных машинах задачи, алгоритмы решения которых не введены в машину и, может быть, вообще не известны. Констатация этого вызывала иногда недоумение. Между тем суть дела ясна. Эвристическая программа, как и всякая программа для вычислительной машины, реализует какой-то алгоритм, но он не является, вообще говоря, алгоритмом решения любой задачи того класса задач, на который рассчитана программа, и поэтому не для всех задач этого класса обеспечивает получение правильного результата решения.

К понятию «алгоритм решения задачи» примыкает понятие «квазиалгоритм решения задачи». Модель способа решения родовой задачи t_q , представляющую собой квазиалгоритм, мы называем *квазиалгоритмом решения задачи t_q* , если алгоритм, эталонный для этого квазиалгоритма, является алгоритм решения задачи t_q . Понятие «квазиалгоритм решения задачи» является, конечно, видовым по отношению к общему понятию квазиалгоритма, рассмотренному ранее.

Ясно, что на алгоритмы решения задач и квазиалгоритмы решения задач распространяется все то, что было сказано об общих свойствах алгоритмов и квазиалгоритмов (равно как и то, что было сказано об общих свойствах моделей способов решения задач). В частности, некоторое предписание не может выступать по отношению

к решателю Q как алгоритм решения какой-либо задачи, если хотя бы одна из предусматриваемых этим предписанием операций не является эффективной для решателя Q . Точно так же предписание не может рассматриваться по отношению к решателю Q как квазиалгоритм решения какой-либо задачи, если хотя бы одна из предусматриваемых указанным предписанием операций не является для решателя Q ни эффективной, ни квазиэффективной.

Рассмотрим конкретный пример. Пусть ученик хорошо знает требуемую последовательность операций при перемножении двузначных или трехзначных чисел «в столбик». Но таблицу умножения он как следует не усвоил и потому, перемножая однозначные числа, часто допускает ошибки. Таким образом, здесь не обеспечена высокая вероятность успешного выполнения операций такого умножения. Поэтому, то предписание, которое реализует ученик, не является для него ни алгоритмом решения задачи, ни квазиалгоритмом решения задачи (и это – несмотря на то, что рассматриваемое предписание внешне совпадает с «настоящим», математическим алгоритмом).

Алгоритмы и квазиалгоритмы решения задач (как и, вообще, модели способов решения задач) могут находиться в распоряжении решателя в различной форме. Рассматривая решение задач человеком, следует различать такие случаи.

1. Указанная модель представлена вовне в виде развернутого предписания (инструкции), устанавливающего содержание и последовательность подлежащих выполнению операций.

2. Вовне представлена только упрощенная (свернутая) модель способа решения задачи, но субъект при этом владеет способом перехода от нее к развернутому предписанию.

Так, например, формулу $(a+b)^2 = a^2 + b^2 + 2ab$ можно считать свернутым представлением алгоритма возведения двучлена в квадрат.

(Пример принадлежит Л. М. Фридману. Он пишет: «Учителю математики, который сам владеет алгоритмами, кажется, что указаний, сформулированных в свернутом виде, т. е. в том виде, в котором принято излагать эти алгоритмы в научной литературе, вполне достаточно, чтобы решить самостоятельно любую задачу рассматриваемого вида». **Но ученику таких указаний недостаточно, если он «не умеет самостоятельно преобразовать свернутую форму алгоритма в развернутую»**).

3. Субъект помнит предписание и пооперационно воспроизводит его под контролем сознания. Требование хорошего освоения учебного алгоритма «не означает, что его следует специально заучивать».

Значительно полезнее его произвольное запоминание в результате многократного осознанного выполнения.

4. Последовательность операций, предусмотренная предписанием, сформирована на уровне навыка.

Мы называем родовую отнесенную задачу m_q *рутинной* (соответственно *квазирутинной*), если решатель Q обладает представленным в той или иной форме алгоритмом (соответственно квазиалгоритмом) решения этой задачи. Прочие родовые отнесенные задачи мы называем *нерутинными*. Введенные понятия можно обобщить на случай индивидуальных задач. Индивидуальную отнесенную задачу n_q мы называем *рутинной* (соответственно *квазирутинной*), если одновременно выполняются следующие условия: **во-первых**, задача n_q принадлежит к классу задач, соответствующему рутинной (квазирутинной) родовой задаче; **во-вторых**, прямая информация об этом имеется в решателе Q или же операция, обеспечивающая отнесение задачи n_q к указанному классу, является для этого решателя эффективной (соответственно квазиэффективной).

Обратим внимание на важность второго условия, упомянутого в предыдущем абзаце. Следует считаться с тем, что реальная сфера успешного применения индивидом некоторого способа действия (точнее, сфера, в рамках которой этот способ выступает как квазиалгоритм решения задачи) может быть значительно уже той области, на которую этот способ в принципе рассчитан. В связи с этим обеспечение необходимой общности формируемых способов, с тем чтобы обучаемые были готовы применить их к разнообразным, в том числе не встречавшимся им ранее, ситуациям, выступает в качестве важного дидактического требования.

Индивидуальные отнесенные задачи, не являющиеся рутинными или квазирутинными, мы обозначаем как *нерутинные*.

Нерутинность для учащихся решаемых ими задач следует оценивать отрицательно, если она является следствием недостаточного усвоения тех способов действий, которыми учащиеся уже должны владеть на данном этапе учебного процесса. В иных случаях ее следует считать вполне нормальным явлением. Более того, часто она специально проектируется, в особенности в системе проблемного обучения.

Употребив последний термин, мы должны отметить, что наше понятие нерутинной задачи близко к широко используемому научными работниками понятию «**проблемная задача**» (иногда ее называют просто проблемой). Так, например, Н. А. Менчинская писала об «осознании задачи как проблемы, способы решения которой еще неизвестны». Соответствие этих понятий становится отчетливым, если

учесть, что обычно при этом имеются в виду способы, гарантирующие (по крайней мере, с достаточно высокой вероятностью) решение задачи, а такие способы всегда могут быть представлены как алгоритмы или квазиалгоритмы решения задачи.

Мы, однако, не случайно предпочли термин «нерутинная задача» гораздо более распространенному словосочетанию «проблемная задача». Дело в том, что термин «проблема» весьма многозначен. Выступая часто (в особенности в дидактических текстах) как синоним выражения «нерутинная (нестандартная) задача», он употребляется наряду с этим для обозначения таких сложных образований, как научная проблема или социальная проблема.

Психологи при характеристике стоящей перед субъектом проблемы нередко подчеркивают мотивационные моменты.

Как пишет об этом, например, Д. Берлайн, «если субъект не способен быстро найти подходящий ответ в некоторой ситуации, но сама ситуация не является для него интересной или важной, так что последствия отсрочки в нахождении решения несущественны, то можно сказать, что эта ситуация не является для данного субъекта проблемой в сколько-нибудь значительной степени».

Важный для дидактики вывод из такого понимания проблемы состоит в том, что не только слишком легкая для учащегося задача, но и «слишком трудная утрачивает проблемный характер». В дидактических трудах проблеме часто приписывают и другие (помимо нерутинности) свойства. Утверждается, например, что в проблеме «отсутствуют все данные, необходимые для ответа... Тот, кто решает проблему, должен определить, каких фактов ему недостает и как он должен их искать».

Во многих случаях исходят из того, что отличительным свойством проблемы является фиксация в ней некоторого диалектического противоречия. В соответствии с этим принимается, что **«увидеть проблему – это значит осознать тот вопрос, который вытекает из сочетания несовместимых на первый взгляд информации»**.

В стимулировании путем соответствующего построения учебного материала «проблемного видения» в этом смысле справедливо усматривается одно из важных направлений усиления развивающего характера обучения. Вместе с тем ясно, что «проблема», как она трактуется здесь, – понятие, намного более узкое, чем то, которое обозначала этим термином Н. А. Менчинская, а мы называем *нерутинной задачей*.

Обратимся к работам по методике математики. У В. М. Бродиса нашему понятию нерутинной задачи соответствует термин «задача в

собственном смысле слова»; таким задачам противопоставляются «задачи-примеры». В. Г. Болтянский подразделяет задания на «упражнения» (понятие, близкое к «задаче-примеру» в смысле В. М. Брадиса и к нашему понятию квазирутинной задачи) и «задачи» (к последним он относит только, говоря нашими терминами, нерутинные задачи).

А. А. Столяр выделяет «три вида ситуаций, связанных с решением задач...»:

I – решение стандартных задач, общий метод решения которых еще неизвестен учащимся;

II – решение стандартных задач, общий метод решения которых уже известен учащимся;

III – решение нестандартных задач».

Эти ситуации требуют, отмечает А. А. Столяр, различных стратегий обучения (впрочем, здесь вернее, по-видимому, подход «с другого конца»: в зависимости от дидактических целей, находящихся отражение в стратегиях обучения, должны быть построены наборы учебных задач, обладающих определенными свойствами). В ситуации I такая стратегия «должна быть ориентирована на открытие учащимися (с помощью учителя) общего метода решения всех задач данного класса», в ситуации II – «на обучение распознаванию принадлежности частных задач к классам задач, решаемых определенными, уже известными методами», в ситуации III – «на обучение методам поиска решений». Общий метод, о котором идет речь, можно считать квазиалгоритмом решения некоторой отнесенной к учащемуся Q родовой задачи M_Q . (Вместе с тем это может быть алгоритм решения родовой задачи m , отнесенной к идеализированному решателю R). Учитывая это, представим в табл. 1 в принятых нами терминах характеристики этой задачи, а также произвольной индивидуальной задачи, принадлежащей к классу, соответствующему родовой задаче m_q .

Следует иметь в виду, что решение рутинной задачи может осуществляться и не в соответствии с алгоритмом ее решения (алгоритмом решения задач соответствующего класса). Аналогично решение квазирутинной задачи может осуществляться и не в соответствии с квазиалгоритмом ее решения. Субъект нередко отдает предпочтение такому подходу, если имеющийся в его распоряжении алгоритм или квазиалгоритм слишком громоздок и есть надежда обойдись без него, получить требуемый результат меньшими затратами труда. Могут быть и другие причины отказа от использования

имеющегося квазиалгоритма, например нежелание субъекта выполнять давно известные, наскучившие ему процедуры.

Таблица 1

Тип учебной ситуации (по А. А. Столяру)	Родовая задача		Индивидуальная задача	
	до обучения	после обучения	до обучения	после обучения
I	нерутинная	квазирутинная	нерутинная	квазирутинная
II	квазирутинная		нерутинная *	квазирутинная
III	не рассматривается		нерутинная	нерутинная, но менее трудная

* Если учащийся не владеет способом отнесения задачи к соответствующему классу.

По мнению А. А. Колпакова, знакомить учащихся с алгоритмами решения физических задач целесообразно «в том случае, если, во-первых, данный тип задачи важен и будет встречаться достаточно часто, во-вторых, алгоритм ее решения не сложен»; если же это не так, то задачу «лучше решать эвристически на основе анализа физических процессов, описываемых в ее условии». Интересно, что и при использовании автоматических решателей «часто желательно (даже необходимо) заменить гарантированную процедуру поиска практически более пригодной процедурой поиска, которая, однако, не гарантирует успеха».

Заметим еще следующее. То, что некоторая задача является рутинной (или квазирутинной), отнюдь не исключает нерутинности задачи n_q нахождения оптимального в том или ином отношении способа решения задачи m_q . Важная цель «формирования алгоритмической

культуры учащихся», приобретающая особую значимость в связи с введением курса «Основы информатики и вычислительной техники» и внедрением компьютеров в учебный процесс, предполагает обучение не столько выполнению алгоритмов (которое часто целесообразно передать компьютеру), сколько их рациональному выбору и составлению

Требование четкой постановки задач систематически выдвигается в качестве одного из наиболее важных применительно к самым различным сферам человеческой деятельности, в том числе к сфере обучения. В то же время справедливо отмечается, что человеческий разум «не может довольствоваться одними лишь четко очерченными целями». Эта противоречивая ситуация определяет значимость понятий, которым посвящается настоящий пункт.

Мы называем отнесенную задачу m_q (родовую) или индивидуальную):

четкой, если прямая информация о том, решена ли эта задача, находится в распоряжении решателя Q или если задача установления того, решена ли задача m_q , является для этого решателя рутинной;

квазичеткой, если прямая информация о том, решена ли эта задача, с вероятностью, достаточно *близкой к* единице, находится в распоряжении решателя Q или если задача установления того, решена ли задача m_q , является для этого решателя казацирутинной;

нечеткой, если она не является ни четкой, ни квазичеткой.

Понятия о четкой, квазичеткой и нечеткой задачах, равно как и понятия о рутинной, квазирутинной и нерутинной задачах, имеют, конечно, смысл только для отнесенных задач, иначе говоря, только по отношению к определенному решателю или решателю определенного типа.

Введенные выше понятия «четкая задача» и «квазичеткая задача», с одной стороны, и «нечеткая задача», с другой стороны, соответствуют одной из основных трактовок понятий «хорошо определенная задача» («well-defined problem») и «плохо определенная задача» («ill-defined problem»), широко используемых в кибернетической и психолого-педагогической литературе. Так, согласно Д. Дёрнеру, в случае хорошо определенной задачи «существует алгоритм для принятия решения о том, что достигнуто целевое состояние; такой алгоритм не существует для плохо определенной задачи». Вместе с тем о «нечеткой» («плохо определенной», «плохо структурированной») задаче говорят также, имея в виду недостаточную определенность не критерия решенности

задачи, а самого ее предмета, когда, например, не вполне ясно, что, собственно, «дано» в задаче.

На этом типе «нечеткости» мы вкратце остановимся далее.

С точки зрения общей теории задач не исключена возможность, что нечеткая задача является рутинной или квазирутинной. Но если, как это имеет место для учебных задач, задача считается решенной только при условии, что решатель владеет информацией об этом, то, конечно, рутинной может быть только четкая, а квазирутинной – только четкая или квазичеткая задача. Четкая задача может быть, разумеется, как рутинной или квазирутинной, так и нерутинной.

Какие требования надо предъявлять к учебным задачам в отношении их характеристик, описанных в настоящем параграфе? Ответ аналогичен тому, который был дан ранее в связи с рассмотрением рутинных, квазирутинных и нерутинных задач. В учебном процессе нежелательна нечеткость решаемых учащимися задач, обусловленная то ли неясностью или противоречивостью формулировок заданий (вообще, неадекватностью обучающих воздействий), то ли несформированностью самоконтроля учащихся, неумением оценить успешность своих действий. Иное дело, когда нечеткость задач, о которых идет речь, предусматривается специально с целью стимулирования их самостоятельного уточнения учащимися.

Так, академик П. Л. Капица считал целесообразным «ставить задачи менее определенно, давая учащемуся возможность самостоятельно подбирать подходящие величины из опыта. Вот примеры таких простых задач. Предложить определить мощность мотора насоса, необходимого для поддержания струи, чтобы тушить пожар шестизэтажного дома. Или другая задача: каких размеров должна быть линза, чтобы собранные в ее фокусе солнечные лучи раскалили железную проволоку? Очевидно, ученик сам из жизненного опыта или из справочника... должен подобрать необходимые ему данные... Студенты любят такие задачи, они не имеют точного решения, и это вызывает живое обсуждение».

1.4.4. Внешние и внутренние задачи

Существенными характеристиками отнесенных задач являются отношения, существующие между основными компонентами задачи (ее предметом и требованием), с одной стороны, и решателем, с другой. Наряду с наиболее простым случаем, когда предмет задачи находится вне решателя, возможны ситуации, когда они совпадают, когда предмет задачи входит в состав решателя или, напротив, решатель – в состав предмета задачи и т. п. Соответствующие примеры

приводились ранее. Наряду с предметом задачи и решателем можно ввести в рассмотрение также «задающую систему» (т. е. ту, которая ставит задачу) и провести классификацию задач, основываясь на отношениях, которые могут иметь место между этими тремя объектами.

Теперь введем понятия о внешних и внутренних задачах.

Задачу, предмет и требование которой находятся вне решателя Q , мы называем *внешней* относительно него. *Внутренняя* (относительно решателя Q) – это такая задача, предметом которой служит некоторая имеющаяся в решателе Q модель (а требованием – соответственно модель требуемого состояния этой модели).

Противопоставление внешних и внутренних задач проводят многие исследователи, использующие, однако, различную терминологию. Так, например, В. В. Репкин и В. Т. Дорохина называют внешнюю задачу, находящую применение в процессе обучения, «заданием», а внутреннюю задачу – просто «задачей».

Переход от внешней задачи к внутренней имеет место в процессах принятия человеком предложенной ему извне задачи. При этом «психическому моделированию» подвергается как исходный предмет задачи, так и ее требование.

Легко видеть, что всякая внутренняя задача является информационной. Кроме того, исходя из данной ранее трактовки понятия целенаправленного действия, констатируем, что необходимым условием осуществления такого действия активной системой является наличие задачи, внутренней для этой системы.

Ясно, что внешние и внутренние (относительно произвольно избранного решателя) задачи в своей совокупности, вообще говоря, не исчерпывают множества отнесенных (к этому решателю) задач. В этой связи сопоставим понятия «внутренняя задача» и «фактически решаемая задача». Данные термины взаимозаменяемы в некоторых контекстах, но отнюдь не во всех. Задача может быть принята субъектом (и стать внутренней для него) в том смысле, что он осознает необходимость решать ее, но тем не менее достаточно сильное намерение действовать в этом направлении может не сформироваться. «Фактически решаемыми» являются многие (в том числе материально направленные) задачи, предметом которых не является (в отличие от внутренних задач) заключенная в решателе модель (примером здесь могут служить хотя бы двигательные задачи). Правда, каждой такой задаче можно поставить в соответствие некоторую внутреннюю задачу. Решаемая субъектом внутренняя задача, возникшая в результате принятия им некоторой внешней задачи, как правило, по своему содержанию не тождественна ей: здесь имеет место явление,

получившее название *доопределения задачи*. **Содержание внутренней (доопределенной) задачи зависит от установок, мотивов и целей субъекта, имеющихся у него знаний, способов действий, которыми он владеет, и т. д.** Все эти факторы влияют во всяком случае на формируемую в составе внутренней задачи информацию, относящуюся к ее решению. **Вместе с тем нередко их влияние оказывается настолько значительным, что при переходе от внешней задачи к внутренней изменяются ее основные компоненты: исходный предмет и требование.** В таких случаях есть основания говорить о «подмене» или о так называемом *переопределении задачи*. Переопределение учебных задач школьниками – весьма распространенное явление, проявляющееся на разных возрастных уровнях и, как правило, отрицательно сказывающееся на результатах учения. Как отмечает Е. И. Машбиц, оно происходит особенно часто в тех случаях, когда требование задачи обращено непосредственно к учащемуся (например, «выучить то-то»). При этом существенную роль играют фактические (часто отличающиеся от декларируемых) требования учителя, под которые «подстраиваются» обучаемые.

Отнюдь не всегда, однако, значительное отличие внутренней задачи от внешней, на основе которой она сформировалась, должно оцениваться отрицательно. В самом деле, **переход субъекта от предложенной извне задачи к другой, носящей во многих случаях более обобщенный характер, является одним из важных проявлений творческой активности.**

Внутренние задачи могут сформироваться решателем и в отсутствие внешней задачи (самостоятельно). Учитывая это, **остановимся на соотношении понятий «формирование задачи» и «постановка задачи».** Первое из них является более общим. Что же касается второго, то его можно трактовать двояко: во-первых, как частный вид самостоятельного формирования задачи субъектом, характеризующийся тем, что достигается ее четкое осознание; во-вторых, как исполнительную часть способа действия по постановке задачи в первом смысле (реализацию ориентировочной части этого способа действия описывают при этом как «усмотрение задачи»).

Проблема постановки задач весьма значима с научной точки зрения. Как показали исследования, проведенные на материале грамматики, трудового обучения и др., обучающиеся привыкли выполнять четко сформулированные задания и не готовы к деятельности, которая предполагает самостоятельную постановку задач, а также творческое отношение к задачам, поставленным извне, – их проверку, дополнение и конкретизацию. Соответствующие умения,

несмотря на их важность для подготовки к различным видам труда и для общего умственного развития обучаемых, целенаправленно не формируются ныне (в массовом порядке) ни в средней школе, ни в системе профтехобразования, ни в вузе (упражнения на составление математических задач по готовым образцам не формируют, конечно, умения самостоятельно ставить задачи. Задачи на составление математических задач приносят существенную пользу, если они, во-первых, нерутинны и, во-вторых, органично включены в систему учебных задач). Не удивительно, что затруднения, подобные указанным выше, проявляются на разных возрастных уровнях – сошлемся хотя бы на сходные результаты, полученные Т. К. Чмут в экспериментах по постановке математических задач младшими школьниками и взрослыми. **Процессы постановки задач плодотворно изучаются в теоретическом и экспериментальном плане, в концептуальных рамках исследования целеобразования.** В этой связи отметим, однако, что хотя цель субъекта является, несомненно, важнейшим компонентом решаемой им (внутренней) задачи, но этот компонент детерминирует протекание деятельности субъекта лишь в сочетании с отражаемыми его психикой условиями достижения цели. Приведенное общее положение находит подтверждение в конкретных экспериментальных результатах. Так, упоминавшееся выше исследование постановки математических задач младшими школьниками показало, что они испытывают затруднения не только при выдвигании цели, но и при выделении условий, необходимых и достаточных для ее достижения, нередко они не могут правильно объединить в единую конструкцию поставленную ранее цель и соответствующие ей условия.

Успешная постановка задачи предполагает адекватное отражение субъектом условий достижения цели. Иначе говоря, формируемый субъектом исходный предмет внутренней для него задачи должен быть адекватен ситуации, в которой ему приходится действовать. Это касается, в частности, педагогических задач: «Учителям необходимо иметь не только ясную картину того, какими должны стать дети под их руководством, но и четкое понимание того, что собой они представляют к началу процесса обучения» (и на каждом этапе этого процесса). Неадекватное отражение во внутренней задаче объективных характеристик ситуаций деятельности может быть обусловлено не только недостатком знаний у формирующего задачу субъекта, но также индивидуально-типологическими особенностями его «когнитивного стиля». Так, в исследовании А. Е. Самойлова, проведенном на материале деятельности инженеров по нахождению неисправностей

компьютеров, у большинства испытуемых при постановке ими задач обнаружилась достаточно устойчивая склонность либо к игнорированию части существенных признаков ситуации, либо, напротив, к приписыванию ей дополнительных, фактически отсутствующих признаков.

Принимаемая нами широкая трактовка понятия задачи, включение в него нечетких и не формулируемых субъектом задач позволяют утверждать, что формирование внутренней задачи субъектом (то ли под влиянием внешней задачи, то ли без нее) происходит всегда в процессе решения им какой-либо другой внутренней для него задачи. Иногда (в случае так называемых «целевых целей») последняя осознается. Так или иначе важное значение процессов формирования задач субъектом не ставит под сомнение тезис о том, что его **деятельность может быть описана как система процессов решения задач.**

1.4.5. Теоретические и практические задачи

Решатель функционирует (воздействует на предмет задачи), будучи «погружен» вместе с ним в некоторую внешнюю среду. **Можно провести классификацию задач, основываясь на отношениях между решателем, предметом задачи и внешней средой.**

Прежде всего введем различие теоретических и практических задач. *Теоретической* мы называем такую отнесенную задачу m_q , для которой выполняются следующие условия:

1) изменения предмета задачи возможны только в результате воздействий со стороны решателя Q ;

2) внешняя среда может влиять на предмет задачи только посредством воздействий решателя Q .

Отнесенную задачу, для которой не выполняется хотя бы одно из условий (1) и (2), мы называем *практической*.

Невыполнение условия (2) означает, что наряду с влиянием на предмет задачи, оказываемым через посредство воздействий решателя, возможно и непосредственное влияние внешней среды на этот предмет. Такое влияние может состоять:

а) в установлении требований или ограничений, которые должны соблюдаться при переходах предмета задачи из одного состояния в другое (условие (1) может при этом выполняться);

б) в обеспечении таких переходов без вмешательства решателя (в этом случае не выполняется ни условие (1), ни условие (2)).

В то время как при решении теоретических задач «существует возможность вернуться при неудаче в произвольную из пройденных

ранее позиций», в практических задачах такое возвращение – вследствие влияний типа «а» или «б» – чаще всего невозможно. «Работа практического ума, – писал Б. М. Теплов, – непосредственно вплетена в практическую деятельность и подвергается ее непрерывному испытанию, тогда как работа теоретического ума обычно подвергается такой проверке лишь в конечных результатах. Отсюда та своеобразная ответственность, которая присуща практическому мышлению».

Те практические задачи, для которых условие (1) выполняется, естественно назвать *статическими*, а те, для которых оно не выполняется, – *динамическими*. Задача может быть динамической вследствие либо того, что предмету задачи свойственны спонтанные изменения, либо того, что он подвержен воздействиям со стороны предметов, входящих в состав внешней среды, либо обоих факторов.

На процесс решения динамических задач зачастую накладываются жесткие временные ограничения. Так (продолжаю цитировать Б. М. Теплова), «в работе полководца... мгновенное решение проблемы является иногда необходимостью; оно не может быть заменено длительным, постепенным решением».

Рассмотрим соотношение между материально направленными и информационными задачами, с одной стороны, и теоретическими и практическими задачами, с другой. Во всякой материально направленной задаче имеет место указанное выше влияние типа «а», проявляющееся, по крайней мере, в обязательности выполнения для предмета задачи всеобщих физических законов.

Р. Дикке задает вопрос: «Можно ли в ходе выполнения лабораторного опыта игнорировать остальную часть Вселенной? Следует, признать, – отвечает он, – что в принципе и физик, и его приборы так прочно связаны с остальной частью Вселенной, так органически погружены в нее, что даже мысленное разделение их невозможно». Всякая материально направленная задача является практической. (При этом она может быть статической или динамической. Простейшими примерами здесь могут служить задачи, решаемые стрелком и предусматривающие соответственно поражение неподвижной или движущейся цели.). **Информационная задача может быть как теоретической, так и практической.** Скажем, **исследовательские задачи, решаемые математиком, представляют собой теоретические информационные задачи.** А, например, решаемые учителем задачи по формированию у обучаемых определенных знаний, будучи информационными, являются вместе с тем динамическими практическими задачами. В заключение отметим, что от практических задач в собственном смысле слова (их

характеристика дана выше) следует отличать теоретические задачи практического содержания (для их обозначения есть удобный простой термин: **прикладные задачи**). Более широкое и продуманное, чем ныне, использование в обучении как практических, так и прикладных задач является, несомненно, необходимым.

1.5. Познавательные задачи

Среди информационных задач важнейшее место занимают *познавательные*. Посвящая им настоящий раздел, мы кратко рассмотрим также коммуникативные задачи, весьма сходные с ними по своей структуре. В этом же разделе мы проанализируем соотношение решения задач и творчества (как подтвердит анализ, творческая деятельность обязательно включает решение удовлетворяющих определенным требованиям познавательных задач).

Понятие познавательной задачи, рассматриваемое в общей теории задач, представляет собой обобщение одноименного понятия, используемого в психологии, педагогике, методологии науки. Заметим, что чаще всего о познавательных задачах говорят в тех случаях, когда предусматривается приобретение субъектом информации, рассчитанной на длительное хранение в его памяти или же в памяти общества, если речь идет о профессиональной деятельности ученого. Вместе с тем термин «познавательная задача» употребляется в психологии и в более широком смысле, находящемся в соответствии с психологическим понятием познавательного процесса. Так, согласно Г. С. Костюку, **«понять новый объект – это значит решить какую-то, пусть маленькую познавательную задачу»**. Однако даже по отношению к этому смыслу понятие познавательной задачи, вводимое в рамках общей теории задач, является обобщенным, поскольку охватывает задачи, отнесенные к решателю любой природы, а не только к человеку-субъекту. Возможность введения такого понятия не означает, конечно, будто «решатель любой природы» может быть субъектом познания в том смысле, в каком этой способностью обладает человек.

1.5.1. Структура познавательной задачи

Познавательная задача в самом общем смысле – это отнесенная к некоторому решателю (искусственному интеллекту) задача совершенствования знания, которым он обладает.

Приступая к рассмотрению структуры познавательной задачи, напомним прежде всего, что **всякое знание можно представить как идеальную модель некоторой моделируемой системы (объекта**

познания), содержащую в своем составе не менее двух компонентов-моделей. Знание, служащее предметом познавательной задачи, можно описать как систему взаимосвязанных компонентов-моделей двух типов. В исходном состоянии предмета задачи только компоненты первого типа несут достаточно полную информацию о соответствующих компонентах объекта познания. В отличие от этого информация, которую несут компоненты второго типа, недостаточно полна. Компоненты объекта познания, моделируемые компонентами-моделями первого и второго типов, – это то, что принято называть соответственно *известными* и *неизвестными* предметами.

Рассмотрим весьма простой пример, а именно познавательную задачу, сформулированную следующим образом:

«В прямоугольном треугольнике ABC длина гипотенузы AC составляет 10 см, а длина катета AB – 6 см. Найти площадь треугольника».

Исходный предмет этой задачи представим с помощью табл. 2.

Таблица 2

Наименование предмета, моделируемого компонентом-моделью	Математическая характеристика этого предмета	Единица измерения	Численное значение
Длина гипотенузы AC	Положительное действительное число	см	10
Длина катета AB	То же	»	6
Длина катета BC	» »	»	?
Площадь треугольника ABC	» »	см ²	?

Он состоит из компонентов-моделей, которыми служат строки таблицы. Каждая из них описывает соответствующий компонент объекта познания (треугольника).

В рассматриваемой задаче длина гипотенузы AC и длина катета AB описаны достаточно полно – это известные предметы. Недостаточно полно описаны длина катета BC и площадь треугольника ABC – это неизвестные предметы. В строках таблицы, описывающих эти предметы, имеются незаполненные (обозначенные вопросительными знаками) клетки. Связи между моделями известных и неизвестных предметов обеспечиваются в данном случае теоремой

Пифагора и формулой для вычисления площади прямоугольного треугольника.

Итак, **наличие наряду с неизвестными известных (или, как еще говорят, данных) предметов обязательно для всякой познавательной задачи.** Правда, в литературе иногда встречаются высказывания, которые могут быть восприняты как противоречащие этому положению. Так, Т. В. Кудрявцев отмечает, что в проектно-конструкторской задаче (которая, с нашей точки зрения, является частным случаем познавательной) «часто указываются лишь цель и функции требуемого технического устройства, а сами данные никак не определены...». Это верно, если под «данными» понимать (как это и делает Т. В. Кудрявцев) принцип действия устройства, тип элементов, из которых оно должно строиться, и т. п. Но с точки зрения теории задач «цель и функции требуемого технического устройства» в задаче разработки его проекта – это тоже известные, т. е. «данные», предметы.

Что касается различия между известными и неизвестными предметами, то оно состоит вовсе не в том, что информация о первых имеется в исходном предмете задачи, а о вторых – якобы отсутствует. Еще раз подчеркнем, что **исходный предмет познавательной задачи несет информацию как об известных, так и о неизвестных предметах** (как отмечает Е. Б. Кузина, «если древние греки не знали строения атома, то они не знали и об этом своем незнании, и поэтому для них структура атома не была областью незнания»); разница лишь в том, что в первом случае эта информация достаточно полная, а во втором – недостаточно полная. Существенно также, что информация о неизвестных предметах содержится в исходном предмете задачи не только в моделях этих неизвестных предметов (это прямая информация), но и в связанных с такими моделями моделях известных (и других неизвестных) предметов (это уже косвенная информация).

Описав исходный предмет познавательной задачи, охарактеризуем теперь ее **требование**. Оно предусматривает перевод всех или некоторых из компонентов указанного исходного предмета, являющихся моделями неизвестных предметов, в разряд моделей известных предметов, иначе говоря, **перевод всех или некоторых из моделей неизвестных предметов в такое состояние, когда полнота содержащейся в них информации будет достаточной (не меньшей, чем требуемая).**

Те неизвестные предметы, к моделям которых относится требование познавательной задачи, – это *искомые* предметы. Искомыми являются, таким образом, все или некоторые из неизвестных предметов. Так, например, в рассмотренной выше задаче

искомым является только один из неизвестных предметов, а именно площадь треугольника.

Можно сказать, что **всякая познавательная задача требует пополнения содержащейся в некотором знании (в исходном предмете этой задачи) прямой информации об искомым предметам.**

Неизвестные предметы, не являющиеся искомыми в рассматриваемой задаче, могут быть искомыми в ее подзадаче (такова в приведенном примере длина катета BC). Неизвестные предметы подобного рода называют промежуточными или вспомогательными неизвестными. В познавательных задачах часто моделируются и такие неизвестные предметы (в математических задачах это так называемые «неопределенные неизвестные»), которые не являются искомыми ни в рассматриваемой задаче, ни в каких-либо ее подзадачах, но используются для установления связей между известными и искомыми предметами (точнее, между их моделями).

Применяя к познавательным задачам общее понятие о решении задачи, констатируем, что **решение познавательной задачи – это такое воздействие на ее предмет, в результате которого он оказывается содержащим достаточно полную прямую информацию об искомым предметам.** Здесь уместно принять подход, согласно которому для **достаточной полноты информации требуется, во-первых, ее достаточный объем и, во-вторых, ее достаточная адекватность.** Такое воздействие на предмет познавательной задачи, в результате которого обеспечивается достаточный объем, но не обеспечивается адекватность прямой информации об искомым предметам, можно назвать *псевдорешением* указанной задачи (обычно в таких случаях говорят о «неверном решении» или «ошибочном решении»).

Решение познавательной задачи может быть формально описано как превращение **высказывательной нормы в истинное высказывание**, а псевдорешение такой задачи – как превращение той же высказывательной формы в ложное высказывание. (*Высказывательной формой* называют «предложение, в составе которого имеется переменная (или несколько переменных) и которое при одних значениях переменной является истинным высказыванием, а при других – ложным»). Основанные на этом принципе «высказывательные модели» задач предложил Л. М. Фридман.

Присоединяясь к общепринятой терминологии, будем называть решение познавательной задачи также *нахождением искомым* (предметов, данных). По отношению к каждому искомому предмету имеет смысл различать следующие случаи:

1) когда его нахождение невозможно (принципиально или для данного решателя);

2) когда его нахождение возможно, причем может быть найден только один результат решения (т. е. только одна удовлетворяющая требованию задачи модель рассматриваемого искомого предмета, несущая о нем достаточно полную информацию);

3) когда его нахождение возможно, причем может быть найдено конечное число (больше, чем 1) различных моделей описанного характера (различных приемлемых результатов решения);

4) когда его нахождение возможно, причем множество приемлемых результатов решения, которые могут быть найдены, бесконечно.

В терминологии Л. Л. Гуровой случаю 2 соответствует «задача с определенным условием», т. е. задача, структура которой «содержит достаточно ограничений для получения определенного результата решения»; случаям 3 и 4 соответствует «задача с неопределенным условием».

На понятии искомого (точнее, искомого предмета) следует остановиться несколько подробнее. Принимаемая здесь трактовка этого понятия находится в полном соответствии с той, которая общепринята в математике: если, скажем, в некоторой задаче требуется узнать численное значение величины x , то для математика ясно, что искомым в задаче является именно x . А. В. Брушлинский считает, однако, что подобная трактовка неправомерна с точки зрения психологии мышления, главным образом, вследствие того, что она игнорирует многократные изменения направленности мыслительного процесса решения задачи. Как отнестись к этой позиции? Верно, разумеется, что «всё более содержательные определения искомого... лишь постепенно и с трудом добываются в ходе всего мыслительного процесса решения задачи». Но из этого следует только то, что психолог, исследующий процесс решения задачи некоторым субъектом, не вправе ограничиться фиксацией искомого, существующего в принятой субъектом задаче (тем более во внешней задаче), но обязан интересоваться также прочими объектами, которые субъект должен искать или фактически ищет, решая задачу. (Иначе говоря, он обязан интересоваться искомыми подзадачами решаемой задачей.) Вместе с тем неверно, на наш взгляд, игнорировать искомое исходной задачи или отказывать ему в «статусе» искомого, и на этом основании отвергать **эвристическое правило**: «С самого начала нужно ясно видеть, что является искомым».

Заметим, что ценность этого правила (адресованного, конечно, человеку, решающему математическую задачу, а не психологу,

изучающему его деятельность) едва ли подлежит сомнению. Пусть, например, школьник приступает к решению задачи, где нужно вычислить полную поверхность усеченного конуса. Важно, чтобы он сразу же хорошо осознал это требование и понимал, что значит «полная поверхность», не путая ее, скажем, с боковой поверхностью.

Степень представленности компонентов познавательной (как и любой иной) задачи в ее формулировке может быть весьма различна. Как отмечает Л. М. Фридман, **«все обычно встречающиеся в практике и в учебном процессе задачи – это задачи с неполно заданной (свернутой) информацией»**. В частности, связи между компонентами-моделями, входящими в состав предмета познавательной задачи, очень часто не фигурируют в формулировке задачи в явном виде; так обстоит дело и в рассмотренном выше примере. Нередко выделение связей, опра на которые позволит решить задачу, требует больших усилий. Существенно также, что, хотя, как отмечалось выше, известные предметы должны быть представлены (смоделированы) в познавательной задаче, вовсе не обязательно, чтобы они были представлены столь же полно в ее формулировке, где они могут лишь подразумеваться.

При этом в общем случае отнюдь не тривиален вопрос о том, что именно представляют собой «подразумеваемые» в формулировке задачи известные предметы. Это в особенности касается задач, решаемых в реальных жизненных ситуациях – в профессиональной деятельности, в быту и т. д. – и являющихся, в терминологии Х. Дрейфуса, **«задачами с открытой структурой»**. Как отмечает этот исследователь, в отличие от настольных игр и тестов (в отличие также от подавляющего большинства учебных задач, добавим мы) **такие задачи «поднимают вопросы, связанные с трудностями трех типов: приходится определять, какие факты могут иметь отношение к рассматриваемой задаче, какие из них действительно имеют к ней отношение и какие из этих последних существенны, а какие нет»**. Дрейфус прав в том, что **указанные трудности ставят особенно серьезные проблемы перед разработчиками систем искусственного интеллекта**. Вместе с тем они, несомненно, должны учитываться и в психолого-педагогических исследованиях, в частности в связи с необходимостью подготовки обучаемых к успешной постановке и решению задач, соответствующих реальным жизненным (в том числе производственным) ситуациям.

Мы говорили о том, что содержание познавательной задачи не исчерпывается сведениями, явно представленными в ее формулировке. Но столь же справедливо и то, что отнюдь не все компоненты формулировки в общем случае существенны для решения задачи. В

связи с этим С. Л. Рубинштейн обращал внимание на важность выделения «условий задачи в собственном смысле слова... которые обуславливают решение и включаются в качестве необходимых посылок в ход рассуждения, ведущего к решению».

В заключение отметим, что либо познавательные задачи могут решаться без *доступа к внешней информации* (в этом случае в процессе решения может использоваться только информация, заключенная в самом решателе и в формулировке или иной предъявленной решателю модели задачи), либо такой доступ может быть предоставлен.

Наличие доступа к внешней информации определяется:

- а) фактическим существованием такой внешней информации, которая могла бы быть использована для решения задачи;
- б) наличием у решателя средств ее извлечения и применения;
- в) отсутствием запрета на ее использование (например, студенту на экзамене может быть запрещено или разрешено пользоваться справочными пособиями).

Ясно, что задача, неразрешимая без доступа к внешней информации, может оказаться разрешимой (для того же решателя) при наличии такого доступа.

1.5.2. Пути решения познавательных задач

Как отмечалось выше, предмет познавательной задачи уже в исходном состоянии содержит некоторую (пусть весьма бедную) прямую информацию об искомым предметам, а в результате решения задачи достигается необходимое пополнение этой информации. Оно может быть осуществлено разными путями, в том числе:

- а) путем использования решателем связей между компонентами-моделями, входящими в состав предмета задачи, и преобразования благодаря такому использованию косвенной информации об искомым предметам в прямую;
- б) путем извлечения решателем недостающей прямой информации из системы, моделируемой предметом задачи, т. е. из объекта познания;
- в) путем генерирования решателем недостающей прямой информации.

При психологическом анализе деятельности рассматриваются типы решаемых субъектом задач, соответствующие тем психическим процессам, которые обеспечивают в основном их решение. При этом выделяются, в частности, мыслительные, перцептивные, имагинативные (активизирующие воображение) задачи. Все эти разновидности задач принадлежат к познавательным (в том смысле

последнего термина, который принят в настоящей работе). Обращаясь к названным выше путям решения познавательных задач, констатируем, что для решения *мыслительных* задач требуется преимущественное использование пути «а», для решения *перцептивных* задач – пути «б», *имажинативных, задач* – пути «в».

Существенно, что независимо от того, должны ли использоваться другие пути, **путь «а» всегда необходим в той или иной мере для решения познавательных задач.** Новая прямая информация всегда должна увязываться при их решении с информацией, имеющейся в исходном предмете задачи. (Объем этой последней информации может быть, конечно весьма различен. Как замечает, характеризуя перцептивные процессы, У. Найссер, «вы можете быть готовы к тому, чтобы увидеть «что-то», или «кого-то», или своего шурина Джорджа, или улыбку на лице Джорджа, или даже единичную улыбку на лице Джорджа»). Как было показано ранее, **для того чтобы считать познавательную задачу решенной, необходимо, в частности, достижение достаточной адекватности содержащейся в предмете задачи прямой информации об искомым предметам.** Возникает вопрос, **о какой адекватности идет речь: безусловной или условной.** Ясно, что оценивать безусловную адекватность рассматриваемой информации имеет смысл лишь в той мере, в какой используется упомянутый выше путь «б» решения познавательной задачи. В той мере, в какой используется путь «а», оценивать следует условную адекватность прямой информации о каждом искомом предмете, считая его эталонной (достаточно адекватной) моделью исходный предмет познавательной задачи. Здесь следует учитывать, конечно, как прямую, так и косвенную информацию об искомым предметам, содержащуюся в этом исходном предмете. Если используется и путь «а», и путь «б» (а путь «б», как было сказано выше, всегда сочетается с путем «а»), то для обеспечения достаточной адекватности содержащейся в предмете задачи прямой информации об искомым предметам нужна и ее достаточная условная адекватность (по отношению к исходному предмету задачи как эталонной модели), и ее достаточная безусловная адекватность (по отношению к непосредственно воспринимаемому объекту познания). Как пишет У. Найссер, имеющаяся у воспринимающего субъекта перцептивная схема «делает возможным развитие по некоторым определенным направлениям, но конкретный характер такого развития определяется только взаимодействием со средой». Не исключено, что эти требования вступают между собой в логическое противоречие, т. е. не могут быть одновременно удовлетворены – в таком случае рассматриваемая познавательная задача оказывается принципиально

неразрешимой. Чтобы она превратилась в принципиально разрешимую, должны быть внесены изменения в ее исходный предмет. В психологической интерпретации это означает, что должны быть перестроены перцептивные схемы (можно сказать также: перцептивные установки субъекта).

Применительно к пути «в» говорить об адекватности содержащейся в предмете задачи прямой информации об искомым предметам не имеет смысла, поскольку, когда решается задача, эти последние предметы еще не существуют. Следовательно, при совместном использовании путей «а» и «в» (напомним, что путь «в» всегда сочетается с путем «а») требуется обеспечить, как при использовании одного лишь пути «а», только достаточную условную адекватность рассматриваемой прямой информации по отношению к исходному предмету задачи как к эталонной модели.

Путь «в» при прочих равных условиях может играть тем большую роль в решении познавательной задачи, чем больше для каждого искомого предмета может быть найдено приемлемых результатов решения. Ситуации, когда их может быть много, характерны для задач, решаемых в области искусства. Как пишет музыкант-педагог Н. Е. Перельман, «задачи в искусстве отличаются от арифметических тем, что не только решения, но и ответы у них бесконечно разнообразны. Распространенное среди исполнителей «списывание» с грамофонных пластинок стирает это отличие».

Приведем примеры использования в учебном процессе рассматриваемых разновидностей познавательных задач. Перцептивные задачи учащиеся должны решать, например, когда от них требуется «рассмотреть рисунок, определить, что на нем изображено, найти главные части объекта» и т. д.. Если же требуется также «сравнить объекты или процессы ... сделать выводы», то должен произойти переход к мыслительной задаче. Такие переходы желательно предусматривать, руководя учебной деятельностью учащихся.

Решение имагинативных задач требуется, в частности, при выполнении так называемых образных заданий по истории, когда надо, опираясь на полученные знания, представить себе и описать событие, которое когда-то происходило (или могло происходить). Например, надо рассказать о древнеегипетском войске и его походе в чужую страну (таким образом, фактически здесь решается и коммуникативная задача). Здесь следует подчеркнуть, что образное задание только направляет учащихся на решение имагинативных задач, но не обеспечивает его, поскольку они обычно «стремятся заменить творческий подход к историческому материалу репродуктивным».

Поэтому следует специально обучать их «оперировать своими представлениями, создавать на основе полученной информации новые образы». Необходимо также обеспечить благоприятную психологическую атмосферу: «Учащиеся охотно и успешно выполняют образные задания только в том случае, если безусловно доверяют своему учителю, убеждены в его чуткости и доброжелательности». В качестве мыслительных задач (в одних случаях – квазирутинных, в других – нерутиных) выступают в психологическом плане математические задачи. Для их решения в принципе достаточно одного только пути «а». Вспомним хотя бы задачу, проанализированную в 1.5.1. Использование связей между моделями известных предметов и моделями неизвестных предметов позволило решить ее без того, чтобы непосредственно извлекать информацию из системы, моделируемой предметом задачи (например, путем измерения с помощью линейки каких-либо размеров треугольника *ABC*). Сошлемся в этой связи на определение математической задачи С. О. Шатуновским: **«Задача есть изложение требования «найти» по «данным» вещам другие, «искомые» вещи, находящиеся друг к другу и к данным вещам в указанных соотношениях»**. (Подчеркнем, что здесь речь идет именно о математических задачах, а не о прикладных задачах, решаемых с помощью математики. В таких задачах обычно приходится «уточнять условие посредством обращения к источнику информации. Источниками, датчиками информации являются: сам рассматриваемый объект, заказчик, для которого решается задача, справочные пособия и др.»). Примеры подобных задач, использовавшихся академиком П. Л. Капицей в вузовском курсе физики, мы приводили в 1.4.3).

В рамках педагогики математики это определение, сформулированное еще в 1910 г., по сей день остается одним из лучших. Правда, В. М. Брадис критиковал его на том основании, что под него якобы не подходят многие задачи на доказательство. С этим трудно согласиться: ведь способ доказательства (точнее говоря, последовательность операций, посредством которых из известных определений, аксиом и теорем, а также из имеющихся в задаче сведений о конкретных объектах логически выводится то, что требуется доказать) также можно считать «искомой» вещью, находящейся в указанном отношении к «данным» вещам.

Путаница здесь возникает из-за неоднозначности понятия «данное» (применительно к конструктивно техническим задачам мы говорили о ней в 1.5.1). **При характеристике процесса доказательства в математике принято называть *данным* («тем, что дано») ту информацию, из которой должна логически следовать**

некоторая другая информация («то, что требуется доказать»). Но с точки зрения теории задач и «то, что дано», и «то, что требуется доказать», в равной мере являются известными («данными») предметами.

В 1.5.1 шла речь о том, что компоненты познавательной задачи могут быть в разной степени представлены в ее формулировке. В связи с этим заслуживают внимания выделенные Н. В. Гродской (на материале школьного курса родного языка) виды мыслительных задач, различающиеся по «степени сформулированности и сокращенности их условия»:

1) задача, «сформулированное условие которой содержит систему известных и неизвестных данных, а также требование установить значения неизвестных»;

2) задача, «в сформулированном условии которой содержатся неизвестные и требование установить их значения, а системы известных данных, с которыми должны быть соотнесены неизвестные в процессе решения задачи, нет»;

3) задача, «сформулированное условие которой состоит только из требования установить значения неизвестных, хотя самой системы неизвестных, как и стемы известных, нет. Задачи этого вида часто встают перед учащимися в форме обобщенного вопроса, лишенного специфических особенностей: «Что это», «Почему?», «Вследствие чего?» и т. п.»;

4) задача, «условие которой вообще не формулируется, а лишь задается общими требованиями наличной ситуации. (Примером задач этого вида могут быть разные орфографические и пунктуационные задачи, которые приходится самостоятельно решать учащимся при написании контрольных диктантов, изложений, сочинений и т. п.)». Необходимо, чтобы учащиеся умели выделять ситуации, где требуется поставить такую задачу, правильно ее ставили и решали.

Наряду с охарактеризованными выше разновидностями познавательных задач при психологическом анализе деятельности рассматриваются также *мнемические* задачи, в том числе задачи запоминания и задачи вспоминания. Легко убедиться в том, что и они могут быть интерпретированы как познавательные (в принимаемой нами трактовке последнего понятия). В самом деле, задача запоминания направлена на обеспечение достаточной полноты того сохраняемого в памяти знания, которое сможет быть актуализировано в процессе будущей, предстоящей деятельности, с тем чтобы выступить в качестве средства решения ее задач. При этом подлежащая запоминанию информация всегда привязывается к уже хранящейся в памяти (например, текст стихотворения – к его названию).

Проявление характерных свойств познавательных задач в задаче вспоминания проиллюстрируем на типичном примере. «Предположим, – писал У. Джемс,– что мы пытаемся вспомнить забытое имя. Любопытно состояние нашего сознания. В нем существует пробел... Это пробел, который интенсивно активен. В нем имеется разновидность «двойника» имени, манящего нас в правильном направлении, вызывающего у нас иногда трепет от чувства нашей близости и затем отбрасывающего нас назад без нахождения искомого термина. Если нам предлагаются неправильные имена, этот однозначно определенный пробел действует немедленно таким образом, чтобы отвергнуть их. Они не соответствуют его шаблону. И пробел одного слова не похож на пробел другого...». С нашей точки зрения, описанный здесь «пробел» можно охарактеризовать как существующую в сознании субъекта модель, несущую недостаточно полную информацию об имени, хранящемся в памяти субъекта, но скрытом (пока задача не решена) от сознания.

Для решения мнемических задач, так же как и перцептивных, преимущественно используется выделенный выше путь «б» (извлечение недостающей прямой информации из объекта познания), совмещаемый в большей или меньшей степени с путем «а» (использованием связей между компонентами знания, находящегося в распоряжении решателя – в данном случае познающего субъекта). Однако, в то время как в перцептивной задаче объект познания находится, как правило, вне субъекта, в задаче запоминания таким объектом является некоторый уже сформированный в процессе восприятия образ (модель, находящаяся в поле сознания), а в задаче вспоминания – модель, хранящаяся (наверняка или предположительно) в психике субъекта, но вне поля сознания.

Мнемические задачи используются в обучении весьма широко. Не всегда, однако, их применение оправдано, и способы их решения сплошь и рядом далеки от оптимальных. Тенденция многих учащихся к механическому заучиванию нередко фактически поддерживается учителями и даже некоторыми методистами (соответствующие факты приводит Я. И. Груденов. Путь к ее преодолению лежит в вооружении учащихся «приемами логического запоминания» и, вообще, в обеспечении тесной взаимосвязи мнемических и мыслительных задач в процессе учения.

1.5.3. Коммуникативные задачи и их соотношение с познавательными

Как уже отмечалось, с познавательными задачами во многом сходны коммуникативные. Подобно понятию познавательной задачи, понятие коммуникативной задачи допускает как психологическую трактовку, так и более общую, вводимую в рамках **общей теории задач**. В соответствии с этой последней трактовкой **структура коммуникативной задачи может быть описана так. Предметом коммуникативной, как и познавательной, задачи является нуждающееся в усовершенствовании знание**, причем структура этого предмета в его исходном состоянии совершенно аналогичная той, которая была описана в 1.5.1 для познавательных задач. Отличие состоит в следующем. Решая познавательную задачу, некоторый решатель Q совершенствует знание l_q , которым он сам обладает; решая же коммуникативную задачу, он совершенствует знание L_R , которым обладает другая активная система – **реципиент (скажем, R)**. Сущность этого совершенствования состоит в приведении знания L_R в соответствие с принимаемым за совершенное знанием l_q , которым владеет решатель Q (знания l_q и L_R описывают, конечно, один и тот же объект познания – обозначим его K). **Критерием решенности коммуникативной задачи являются достижение достаточной условной полноты информации, несомой знанием l_r об объекте K** , причем за эталонное принимается знание l_q . От этой общей трактовки легко перейти к психологической, если принять, что Q – решающий коммуникативную задачу субъект, а R – другой субъект, знания которого он должен обогатить (или, может быть, каждый субъект из некоторой группы, например из класса, с которым работает учитель Q). **Чтобы решить коммуникативную задачу, направленную на обогащение знаний субъекта R , субъект Q должен организовать решение субъектом R соответствующей познавательной задачи (или обеспечить такое решение, если данная коммуникативная задача поставлена перед субъектом Q самим субъектом R)**. Решить коммуникативную задачу субъект-реципиент R может лишь в том случае, если каким-то (пусть весьма неполным) знанием обладает заранее (вспомним анализ познавательной задачи в 1.5.1). Недаром источник информации сравнивают с сосудом, из которого способен испить только тот, кто «пил до этого из других сосудов, чтобы быть подготовленным к восприятию информации».

Решение коммуникативных задач учащимися специально организуется, в частности, при их обучении выразительному художественному чтению. Например, внимание учащихся

привлекается к тому, что, «сказывая сказку, надо помогать не только живо представить происходящее, но и направлять ожидания слушателей... Побуждая учащихся манерой сказывания воздействовать на слушателей, вызывая то настороженность, то восхищение, любованье, можно раскрыть мастерство сказочников, искусство повествования».

Недостаточное внимание преподавателя к насыщению деятельности учащихся коммуникативными задачами снижает ее мотивацию и результативность. На занятиях, констатирует Г. М. Иванецкая, «мы чаще всего ставим учащихся в такое положение, когда они говорят и пишут ради самого процесса, не обращая ни к кому и не преследуя никакой цели (если не считать получение оценки)». В этом она усматривает «важнейшую причину того, что сочинения и высказывания учащихся часто бывают неинтересными и невыразительными».

В противовес подобной практике стимулированное преподавателем стремление решить коммуникативную задачу способствует активизации не только речевых, но и познавательных процессов. Так, при изучении иностранного языка оно «подводит учащегося к необходимости поиска средств выражения (нужных слов). Учащийся находит их в словаре, тексте, «просит» у учителя». В экспериментах В. В. Андриевской младшие школьники должны были **вычленить смысловую структуру сюжетного рисунка (мыслительная задача) и описать эту структуру понятно для партнера-соученика (коммуникативная задача)**. Было установлено, что наличие последней способствует выработке эффективных стратегий анализа изображений.

1.5.4. Вопросы и ответы. Закрытые и открытые задачи

Введем в рассмотрение понятие *вопроса*. **В рамках теории задач вопрос можно определить как знаковую модель (обычно – словесную формулировку) требования познавательной или коммуникативной задачи (или же части такого требования, относящейся хотя бы к одному из фигурирующих в задаче искомых предметов)**. С этой точки зрения вопросом следует считать не только предложение «Чему равен периметр квадрата?», но и предложение «Найдите периметр квадрата».

Здесь используется, таким образом, **не грамматическое, а логическое понятие вопроса**. Характеризуя его, Ф. С. Лимантов отмечает «очень сложную взаимосвязь вопросов с грамматическими

формами их выражения в естественных языках». И хотя «наиболее адекватной формой воплощения вопроса в естественном языке является вопросительное предложение», вопрос может выражаться также повелительными и повествовательными предложениями, а вопросительное предложение иногда выражает утверждение, просьбу и т. п. Под понятие вопроса, как оно определено выше, не подпадают и так называемые неправильные (незаконные) вопросы, например: «Какова температура атома газа?» «Этот вопрос, – пояснял И. К. Кикоин, – узаконен потому, что понятие «температура» относится к газу, состоящему из большого числа атомов в состоянии равновесия, для определенного атома такого понятия нет». Неправильный вопрос можно рассматривать как компонент или частный вид псевдозадачной формулировки. Знаковая модель соответствующего определенному вопросу результата решения познавательной задачи – это *ответ* на указанный вопрос. Ответ является *правильным*, если достигнута достаточная **полнота (т. е. и объем, и адекватность) информации об искомом предмете (предметах), которого (которых) касается вопрос**; *неправильным*, если не достигнута ее достаточная адекватность; *частичным*, если при достаточной адекватности не достигнут требуемый объем информации.

Как было показано в 1.5.1, множество достижимых приемлемых результатов решения познавательной задачи (по отношению к каждому искомому предмету) может быть пустым, конечным (в простейшем случае содержащим только один результат) и бесконечным. Для познавательной задачи, имеющей сформулированное требование (т. е. один или большее число вопросов), здесь следует говорить о множестве достижимых правильных ответов на вопрос задачи (или на каждый из ее вопросов).

Если рассматриваемое множество конечно, то возможны ситуации, когда оно является подмножеством некоторого множества (содержащего обычно еще и неправильные ответы), все компоненты которого представлены в исходном предмете задачи. В этом случае, чтобы решить задачу, достаточно выбрать (для каждого из ее вопросов, если их больше одного) подходящий ответ из находящегося в распоряжении решателя набора вариантов. Познавательные задачи, которых для всех искомых предметов имеют место такие ситуации, будем называть *закрытыми*, а прочие познавательные задачи – *открытыми*.

Для того чтобы четкая закрытая познавательная задача оказалась рутинной (или квазирутинной), в принципе достаточно предоставить в распоряжение решателя алгоритм (или квазиалгоритм) поиска ответа (ответов) на вопрос (вопросы) задачи. **(Поиск понимается при этом**

как процесс выделения элемента с заданными свойствами из некоторого конечного множества.) Как пишет Дж. Слэйгл, характеризуя решение задач системами искусственного интеллекта, «если для нахождения достаточно провести поиск среди небольшого числа возможностей, задача тривиальна – программа в состоянии просто рассмотреть все эти возможности». Если, однако, приходится вести поиск среди большого числа возможностей, то процесс поиска может оказаться слишком громоздким, так что иногда целесообразнее обратиться к нерутинному способу решения задачи. Об этом мы уже говорили в 1. 4.2.

От понятий закрытой и открытой задач следует отличать понятия *закрытого* и *открытого вопросов*. Закрытым называют такой вопрос, в котором множество возможных ответов на него перечисляется явным образом или задается его грамматической формой. Прочие вопросы называют открытыми.

Так, например, вопрос «Чем различаются снег и лед?» является открытым, а вопрос «Что быстрее тает: снег или лед?» – закрытым. К закрытым вопросам относятся, в частности, такие, которые требуют ответа «да» или «нет».

Задача, сформулированная в виде вопроса «Чем отличаются снег и лед?», также является открытой. Но иногда задача закрыта, хотя и формулируется с помощью открытого вопроса.

Рассмотрим в качестве примера грамматическую задачу из сборника упражнений по русскому языку, в которой для каждого из существительных, содержащихся в предложенном тексте, требуется указать род, число и падеж. Хотя возможные значения рода, числа и падежа не перечислены явно в формулировке задачи, т. е. все вопросы задачи являются открытыми, саму задачу естественно считать закрытой, если эти значения хорошо известны решающему ее учащемуся (и поэтому, рассматривая задачу как отнесенную к нему, целесообразно при ее анализе считать, что информация об этих значениях включена в исходный предмет задачи).

На деятельность учащегося по решению задачи оказывает влияние не только то, является ли открытой или закрытой задача, но и то, являются ли открытыми или закрытыми вопросы, содержащиеся в формулировке этой задачи. Так, в программированном обучении использование закрытых вопросов (и соответственно так называемых выборочных ответов) побуждает некоторых учащихся, в особенности слабых, к попыткам отгадывать правильный ответ вместо того, чтобы находить его путем рассуждений.

1.5.5. Трехкомпонентные познавательные задачи

Рассмотрим класс познавательных задач, в которых идет речь о некоторой процедуре (в частном случае – одиночной операции) (*Пр*), переводящей некоторый предмет из начального состояния (*НС*) в конечное состояние (*КС*). В предмете любой задачи этого класса можно выделить три компонента, моделирующие соответственно состояние *НС*, состояние *КС* и процедуру *Пр*.

Начальные и конечные состояния, а также операции и процедуры, моделируемые компонентами предмета познавательной задачи (их называют *состояниями*, *операциями* и *процедурами первого рода*), не следует смешивать с начальным (исходным) и конечным (требуемым) состояниями всего предмета задачи, т. е. с так называемыми *состояниями второго рода*, и с *операциями* и *процедурами второго рода*, осуществляемыми решателем и направленными на перевод предмета задачи из исходного состояния в требуемое.

Различие операций первого и второго рода проиллюстрируем на примере простейших задач, формулировки которых приводятся ниже.

Задача 1. « $2 + 3 = x$. Найти x ».

Способ решения: складываем числа 2 и 3. Получаем: $x = 5$.

Задача 2. « $2 + x = 5$. Найти x ».

Способ решения: из 5 вычитаем 2. Получаем: $x = 3$.

В обеих задачах операцией первого рода является сложение. Но в качестве операции второго рода сложение выступает только в задаче 1, в то время как в задаче 2 операцией второго рода служит вычитание. Заметим, что эта задача представляет собой алгебраическую модификацию одного из видов так называемых обратных арифметических задач, вызывающих при отсутствии правильного педагогического руководства значительные трудности у детей в начале школьного обучения. Их источник лежит именно в различии между операциями, представленными в предмете задачи, и теми операциями, которые должен осуществить ученик, чтобы решить ее.

Применительно к задаче 2 можно говорить о предметах «2» и « x » как о находившихся в начальном (несложном) состоянии первого рода; в конечном (сложном) состоянии первого рода они выступают в виде одного числа 5. В то же время уравнение $2 + x = 5$ представляет собой начальное состояние предмета задачи в целом (состояние второго рода).

Найдя значение x , удовлетворяющее данному уравнению, решатель преобразует предмет задачи к виду $x + 3 = 5$, представляющему собой конечное состояние второго рода.

К сожалению, в литературе по решению задач нередко допускается смешение состояний и операций первого и второго рода. Это связано с тем, что одни и те же термины: «наличное (исходное, начальное) состояние» и «потребное (требуемое, конечное) состояние» – используются, как правило, без всяких оговорок для обозначения состояний то первого, то второго рода.

Обратимся к шуточному примеру У. Рейтмана. Рассматривая «классическую задачу превращения свиного уха в шелковый кошелек», он говорит, что, «если дано, что имеется свиное ухо, эта задача в значительной степени сводится к задаче отыскания последовательности операций над этим ухом, превращающих его в шелковый кошелек». Но из того, что первая задача «в значительной степени сводится» ко второй, никак не вытекает допустимость отождествления первой (материально направленной) задачи со второй (познавательной). Исходным состоянием предмета первой задачи является свиное ухо, а пре-состоянием – шелковый кошелек. Исходным состоянием предмета второй задачи является описание превращения свиного уха в шелковый кошелек, не содержащее описания (достаточно полного) процедуры этого превращения (но и свиное ухо, и шелковый кошелек описаны с достаточной полнотой и в этом смысле совершенно «равноправны» в отличие от их явного неравноправия в первой задаче). Требуемым же состоянием предмета второй задачи является такое описание указанного превращения, в котором его процедура описана достаточно полно.

Имеет смысл различать шесть видов трехкомпонентных познавательных задач рассматриваемого класса (см. табл. 3, где даны также простейшие примеры формулировок задач каждого вида). В таблице использованы обозначения *НС*, *Пр* и *КС*, расшифрованные в начале параграфа. Знаком «+» обозначается известный компонент; знаком «-» – неизвестный.

Таблица 3.

Шесть видов трехкомпонентных познавательных задач

№ п/п	Вид задачи	<i>НС</i>	<i>Пр</i>	<i>КС</i>	Пример формулировки задачи
1	Задача <i>исполнения</i>	+	+	-	«Пользуясь таблицей синусов, найти синус $27^{\circ} 35'$ »
2	Задача <i>преобразования</i>	+	-	+	«Доказать, что $\sin 105^{\circ} =$

					$\cos 15^\circ$
3	Задача восстановления	-	+	+	«Пользуясь таблицей синусов, найти $\arcsin 0,412$ »
4	Задача построения	-	-	+	«Представить числа 0,825 как какую-либо тригонометрическую функцию острого угла»
5	Задача использования процедуры	-	+	-	«Дать пример нахождения синуса угла с помощью таблицы»
6	Задача использования имеющегося состояния	+	-	-	«Указать значение какой-либо тригонометрической функции угла 48° »

В качестве иллюстрации на рис. 3 дана схема задачи преобразования (она является, конечно, одной из возможных конкретизации общей схемы задачи, представленной на рис. 1). Различие состояний (*НС* и *КС*), моделируемых компонентами предмета задачи, и состояний (исходного и требуемого) этого предмета в целом представлено на схеме весьма наглядно.

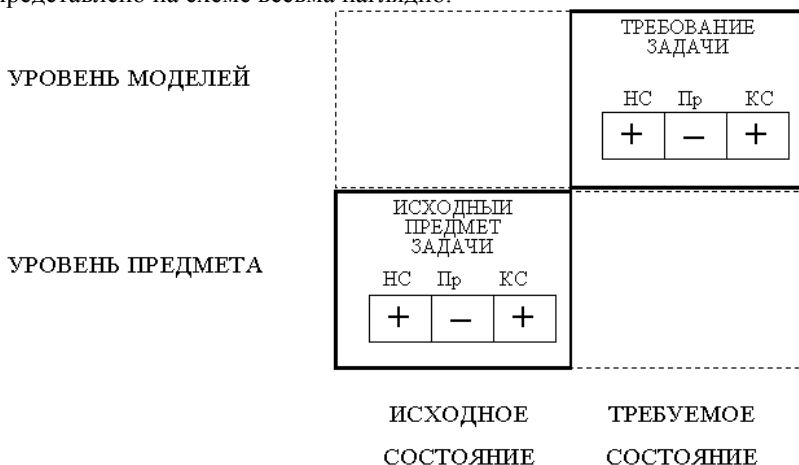


Рис. 3

Итак, **задачи преобразования – это частный вид познавательных задач.** Но тогда верно ли, что «в большинстве случаев решение задачи – это процесс преобразования некоторой начальной (заданной) ситуации в некоторую конечную (требуемую) ситуацию»? **С нашей точки зрения, именно так обстоит дело при решении не большинства, а всех задач.** В преобразовании исходного состояния предмета задачи в требуемое состоит решение любой задачи, в преобразовании несовершенного знания в более совершенное – **решение любой познавательной (а также коммуникативной) задачи.** Не нужно только смешивать это преобразование с тем, которое служит объектом познания и способ которого в некоторых познавательных задачах – именно они названы в табл. 3 задачами преобразования – является искомым.

Примером задачи преобразования является знаменитая задача о квадратуре круга, формулируемая следующим образом: **«Дан круг, радиус которого известен; требуется построить при помощи циркуля и линейки квадрат, площадь которого в точности равнялась бы площади этого круга» (эта задача, как известно, принципиально неразрешима).**

Обратим внимание на то, что мы относим данную задачу к задачам преобразования, хотя по классификации, принятой в геометрии, это задача на построение: **построение с точки зрения геометрии и с точки зрения общей теории задач – разные вещи.** Ряд примеров задач построения (в том смысле, какой придается этому термину в теории задач) приводит У. Рейтман. Он, в частности, пишет: «Рассмотрим, с одной стороны, ученого, который хочет дать объяснение странному явлению, которое он только что наблюдал, а с другой стороны, вора, который ищет себе алиби, чтобы доказать свою непричастность к событиям, приведшим к его аресту. Как бы они ни отличались во всем остальном, оба сходны в том отношении, что перед ними стоят задачи, для которых характерно то, что они включают достаточно хорошо определенные конечные состояния и по существу бессодержательные начальные состояния и процессы».

Классификация трехкомпонентных познавательных задач оказывается полезна при интерпретации результатов психологических экспериментов. Так, в исследовании А. Е. Самойлова (мы уже упоминали о нем в 1.4.4) была установлена склонность многих субъектов ставить перед собой задачу преобразования даже в тех ситуациях, которые объективно требуют постановки более сложной по своей структуре задачи построения. Была выделена также группа лиц, которые, напротив, склонны ставить перед собой задачу построения даже в тех более простых ситуациях, которые объективно требуют

постановки задачи преобразования. На основе проведенного исследования разработаны рекомендации по учету такого рода склонностей при организации трудовой и учебной деятельности.

Говоря о возможных педагогических применениях рассматриваемой классификации, отметим, что в учебных целях применяют, как правило, задачи первых четырех из представленных в табл. 3 видов. Между тем задачи пятого и шестого видов могут быть не менее полезны. К последнему виду относятся, в частности, так называемые задачи-модели, разработанные Е. И. Машбицем и оказавшиеся весьма эффективными. В таких задачах указывалась, например, какая-либо одна характеристика прямоугольного треугольника (скажем, синус одного из острых углов) и требовалось найти все характеристики, которые можно определить исходя из нее.

Отнесение познавательной задачи, сформулированной определенным образом, к тому или иному из рассмотренных видов может зависеть от того, каким образом исследователь выделяет компоненты предмета задачи, какие именно подразумеваемые сведения он считает добавленными к сведениям, явно содержащимся в формулировке задачи.

Так, например, задача, имеющая формулировку «Решить уравнение $x^2-5x+6=0$ », может быть истолкована как задача восстановления, где x есть неизвестное начальное состояние некоторой числовой величины, а известны, во-первых, произведенная над этой величиной процедура, состоящая из операций возведения в квадрат, умножения, вычитания и сложения, и, во-вторых, ее конечное состояние – нуль. Но той же формулировке можно поставить в соответствие и задачу исполнения, где неизвестен результат решения уравнения (его корни), известен начальный вид уравнения и предполагается известной процедура его решения.

Заметим, что если описываемая задача трактуется как неотнесенная, то обе указанные интерпретации равноправны. Если же она рассматривается как отнесенная к школьнику, который должен ее решать, то ее следует считать задачей исполнения, если этому школьнику известен общий метод решения квадратных уравнений, и задачей восстановления, если такой метод ему не известен, но он понимает, что значит «решить уравнение».

В предметах познавательных задач описываемого в настоящем параграфе класса можно выделять **три компонента** иным образом, чем описано выше; вместе с тем иногда оказывается полезным выделять **четыре компонента**. Так, Ю. М. Колягин показал (применительно к школьным математическим задачам), что полезно вводить в рассмотрение наряду с тремя компонентами, которые могут быть

отождествлены с описанными выше, еще и четвертый, который он назвал «базисом решения задачи». **Последний представляет собой «теоретическую или практическую основу» для преобразования начального состояния изменяемого предмета в конечное посредством определенной процедуры (примером здесь может служить теорема, устанавливающая правомерность такого преобразования).**

Ю. М. Колягин построил классификацию четырехкомпонентных задач и на ряде примеров продемонстрировал, что она «дает возможность, изменив формулировку почти любой традиционной школьной задачи, получать задачу нового типа». Это позволяет существенно обогатить находящийся в распоряжении учителя набор обучающих воздействий.

1.5.6. Эвристические средства

Продолжим применительно к познавательным задачам начатое в разделе 1.4 рассмотрение средств решения задач.

Для решения нерутинных познавательных задач оказываются необходимыми так называемые *эвристические средства*. Эвристическими (применительно к задаче m_q) мы называем все средства (помимо алгоритмов и квазиалгоритмов ее решения), которые обладают следующими свойствами:

а) они находятся или могут находиться в распоряжении решателя Q ;

б) они являются моделями для него, т. е. несут для него информацию;

в) их применение делает возможным или облегчает (или хотя бы может сделать, возможным или облегчить) решение задачи m_q . (Под «облегчением» здесь понимается уменьшение уровня трудности задачи по сравнению с тем случаем, когда при прочих равных условиях рассматриваемое эвристическое средство отсутствует.)

Часто **эвристические средства называют просто «эвристики»**. Мы предпочитаем термин «эвристическое средство» во избежание смешения с **«эвристикой» как отраслью науки**.

Всякое эвристическое средство можно охарактеризовать, во-первых, его *силой*, т. е. тем, в какой мере применение этого средства уменьшает (или может уменьшить) трудность рассматриваемой задачи или задачи рассматриваемого класса, и, во-вторых, *широтой сферы применимости*, т. е. объемом класса задач, трудность которых может быть уменьшена благодаря применению этого средства. Примерами эвристических средств с весьма узкой сферой применимости являются

подсказки и намеки, относящиеся к содержанию конкретной индивидуальной задачи. Примерами эвристических средств, обладающих чрезвычайно широкой сферой применимости, могут служить основные законы формальной и диалектической логики.

Понятие эвристического средства, как мы его трактуем, охватывает очень широкий круг самых разнородных образований, начиная от наглядных пособий и кончая возникающими у субъекта ассоциациями или даже его эмоциями. Распространяя на эвристические средства проведенную в 1.1.2 классификацию моделей, мы различаем материальные, материализованные и идеальные эвристические средства. Приведем несколько примеров. При решении задачи, связанной с анализом работы какого-либо технического устройства, его действующая модель может служить материальным эвристическим средством. В качестве материализованных эвристических средств могут выступать печатные инструкции, графические схемы, устные указания руководителя работы и т. п. Те же указания, когда решающий задачу человек вспоминает их, или та же схема, как она существует в его представлении, – это уже идеальные эвристические средства.

Рассмотрим (не приводя соответствующих определений) некоторые виды эвристических средств.

1. Эвристические сведения. Применительно, например, к физическим задачам в качестве таковых выступают закон Архимеда, закон сохранения энергии и другие физические законы.

Заметим здесь, что важную эвристическую роль способны играть сведения, а также образы, казалось бы, не имеющие отношения к содержанию решаемой задачи. Это связано с тем, что, говоря словами Э. де Боно, **«вы никогда... не получите новой идеи, если будете изучать только ту информацию, которая соответствует старой идее».**

2. Эвристические предписания. Их примерами могут служить разработанные Б. А. Гохватом (и с успехом использованные в школьном обучении) указания по построению «учебных алгоритмов преобразования».

Приведем одно из них. Оно направлено на получение «учебного алгоритма», обеспечивающего построение математического объекта на основе его генетического определения. Для получения такого «учебного алгоритма» нужно: «1) выделить операции, необходимые для построения объекта; 2) найти рациональную их последовательность; 3) определить логические условия их выполнения; 4) выделить дополнительные операции, которые производятся в случае невыполнения логических условий; 5) построить учебный алгоритм».

Весьма развернутыми эвристическими предписаниями являются разработанные Г. С. Альтшуллером различные модификации «алгоритма решения изобретательских задач» (АРИЗ). С точки зрения описываемой в настоящей книге системы понятий, это, конечно, не алгоритм и даже не квазиалгоритм, поскольку эффективность или квазиэффективность предусматриваемых им операций вовсе не гарантируется.

3. *Эвристические рекомендации.* Примером их набора служит следующий отрывок из указаний Д. Пойа по решению «задач на нахождение».

«Рассмотрите неизвестное. И постарайтесь припомнить знакомую задачу с тем же или подобным неизвестным. Сохраните только часть условий, отбросив остальные; в какой мере теперь определяется неизвестное? Как можно его варьировать? Сумеете ли вы вывести что-нибудь полезное из данных? Сможете ли вы придумать другие данные, из которых можно было бы определить неизвестное?».

Системы эвристических рекомендаций, рассчитанные на использование на разных этапах процесса решения учебных математических задач, приводит Ю. М. Колягин.

Подобно алгоритмам и квазиалгоритмам решения задач, эвристические сведения, предписания и рекомендации могут находиться в распоряжении решателя в различной форме: то ли *внешней опоры*, то ли *внутреннего достояния*.

В качестве эвристических сведений, являющихся внутренним достоянием субъекта, выступают его *знания*, находящие применение при решении задачи. Что касается *умения* субъекта решать задачи некоторого класса, то его естественно трактовать как квазиалгоритм решения задач этого класса или же обладающее достаточной силой эвристическое предписание по их решению при условии, конечно, что такой квазиалгоритм или предписание является внутренним достоянием субъекта.

Как известно, в психологии активно исследуются так называемые *стратегии* – психические образования, обеспечивающие «интеграцию основных операций в сложные формы мышления». Каждая стратегия применима обычно к достаточно широкому классу задач. Таковы, например, выделенные при изучении творческой деятельности конструкторов «мыслительные стратегии поиска аналогов, комбинирования, реконструирования, а также объединенные, универсальные стратегии...». Возрастающее внимание уделяется анализу стратегий учения и формированию у обучаемых наиболее эффективных из них.

В нашей системе понятий *стратегию решения задачи* (или *задач некоторого класса*) можно охарактеризовать как эвристическое предписание или рекомендацию, находящуюся в распоряжении решателя и несущую информацию о свойствах способа решения данной задачи (или любой задачи данного класса). Стратегии решения подзадач некоторой задачи описываются иногда под названием *тактик*. Для характеристики индивидуально-типологических особенностей, выражающихся в предпочтении определенных стратегий, используется понятие *когнитивного стиля* (в том числе *стиля учения*, *стиля мышления*). Резонно обращается внимание на важность осознания субъектом «собственного стиля мышления, его сильных сторон и его слабостей».

Среди эвристических средств, используемых для решения мыслительных задач, особую роль играют так называемые *общелогические указания* (выступающие в форме сведений или предписаний). Они несут информацию о средствах и способах рассуждений безотносительно к особенностям предметов, о которых эти рассуждения ведутся. При этом полезно различать *доказательно-логические* и *правдоподобно-логические* указания, несущие соответственно информацию о способах и средствах доказательных и правдоподобных рассуждений.

Логику правдоподобных рассуждений нередко называют эвристической логикой. Д. Пойа говорит об «эвристических умозаключениях» в противоположность доказательным. Термин «эвристический» имеет в этом контексте примерно такой смысл: «способствующий получению новых правдоподобных суждений, но не обеспечивающий доказательства их истинности». Такое словоупотребление может, на наш взгляд, порождать путаницу, поскольку эвристическими (облегчающими решение нерутинных познавательных задач) средствами являются и доказательно-логические указания, которые не имеют отношения к логике правдоподобных рассуждений.

(Нередко в литературе вообще противопоставляют «эвристическое» «логическому», но это связано с употреблением, по крайней мере, одного из этих терминов в совершенно ином смысле, чем принятый нами. Так, И. Мюллер разграничивает «эвристические последовательности операций» и «логические последовательности операций». Второй термин при этом означает, однако, не что иное, как алгоритмы решения задач.)

Общелогические указания (как доказательнологические, так и правдоподобно-логические), являющиеся достоянием субъекта, играют весьма важную роль в решении им разнообразных познавательных

задач. В связи с этим продолжает оставаться актуальной не решенная до сих пор проблема специального формирования общелогических умений у школьников.

Отметим в заключение важную роль и недостаточную разработанность (в том числе применительно к школьному обучению) *содержательно-логических указаний*. В отличие от общелогических они несут информацию о средствах и способах рассуждений, посвященных не любым предметам, а принадлежащим некоторой области. Наибольшую ценность представляют при этом рассуждения, реализующие принципы диалектической логики и находящие применение при формировании содержательных (теоретических) обобщений.

1.5.7. Типы задач поискового конструирования

При проектировании и разработке любого изделия или технологического процесса специалист вынужден решать последовательно три типа задач поискового конструирования. *Задачи первого типа* — это задачи выбора или поиска наиболее эффективного *физического принципа действия* для конкретных условий и требований. При решении этих задач варьируют физическими эффектами и явлениями до нахождения наиболее целесообразного их сочетания. Если, например, конструктор проектирует устройство для взвешивания, то он может положить в основу принципа действия закон рычага или закон упругой линейной деформации тел, или пьезоэффект, а также многие другие физические эффекты и их комбинации.

Второй тип — задачи выбора или поиска наиболее рационального *технического решения* при заданном физическом принципе действия. При решении этих задач варьируют конструктивными элементами и признаками до нахождения наиболее целесообразного их сочетания. Решение таких задач представляет собой как бы материализацию выбранного физического принципа действия или технической идеи. Технические решения могут отличаться формой функциональных элементов и материалом, из которых они изготовлены, числом элементов, характером соединений и связей между элементами, расположением элементов в пространстве и другими признаками. Изменение конструктивных элементов и признаков обеспечивает значительно большее разнообразие технических решений, чем возможные физические принципы действия. Например, известно несколько тысяч технических решений устройств для взвешивания, использующих только принцип рычага.

Третий тип — задачи определения *оптимальных значений параметров* заданного технического решения. При решении этих задач варьируют значениями параметров до нахождения их оптимального соотношения. **К параметрам** обычно относят **размеры элементов, расстояние между ними, массу, скорость движения, температуру, время воздействия, частоту колебаний, напряжение, надежность, консистенцию и многие другие показатели**. Выбор оптимальных значений параметров также нелегкая задача. Например, такая простая задача, как определение шести размерных параметров двутавровой балки (при заданных нагрузке, условиях прочности и устойчивости, 5%-ной точности определения параметров) приводит к поиску на множестве решений из $(1/0,05)^6 = 64\ 000\ 000$ вариантов!

С точки зрения патентования решение задач первого типа, как правило, приводит к созданию принципиально новых изобретений, за которыми следуют серии изобретений как результат решения задач второго типа. Это значит, **что решение задач второго типа дает подавляющее число патентоспособных решений**. Решение задач третьего типа также иногда приводит к патентоспособным решениям, отличающимся новыми эффективными количественными соотношениями геометрических или физических параметров.

Попробуем ответить на вопрос, что представляет собой проблема выбора наилучшего конструктивного решения, которая включает три указанных типа задач и с которой имеет дело почти каждый конструктор независимо от того, проектирует ли он самолет, измерительный прибор, мясорубку или любой их узел. Для этого введем два очень важных понятия: **техническое задание и критерий качества**.

Под *техническим заданием* на проектирование подразумевается перечень основных эксплуатационных, технологических, экономических и других требований и их значений, которым должно удовлетворять изделие. Например, для автодорожного моста это могут быть ширина проезжей части, грузоподъемность, максимальная стоимость, надежность работы при действующих гидрологических и метеорологических факторах и т. д. Конструктивное решение (которое имеет вполне определенные физический принцип действия, техническое решение и значения параметров) будем называть *допустимым*, если оно удовлетворяет техническому заданию.

Критерий качества — это количественный показатель, с помощью которого из двух любых допустимых конструктивных решений можно выбрать лучшее. Критериями качества могут быть материалоемкость, производительность, коэффициент полезного действия, надежность, точность, стоимость, трудоемкость и др. Хотя во многих реальных

задачах приходится делать выбор по нескольким критериям качества, однако для простоты приведенного ниже рассуждения рассмотрим только задачи с одним критерием.

Построим упрощенную наглядную модель множества всех возможных конструктивных решений, из которого должен выбирать конструктор, имея конкретное техническое задание. Это множество состоит из довольно большого количества допустимых конструктивных решений и недопустимых решений, не удовлетворяющих отдельным требованиям технического задания.

Множество всех возможных конструктивных решений можно представить в виде безбрежного океана с далеко отстоящими друг от друга архипелагами. Все точки «водной поверхности» такого океана — это множество недопустимых решений. Все точки поверхности суши отдельного архипелага — множество допустимых решений с одинаковым физическим принципом действия. Все точки поверхности суши отдельного острова в архипелаге — множество допустимых решений с одинаковым техническим решением, но с различными значениями параметров, которые будем отождествлять с координатами точки. Любая точка поверхности острова имеет свою отметку (положение по высоте), значение которой будем отождествлять с критерием качества конструктивного решения, описанного координатами точки.

Как показывают теоретические и экспериментальные исследования различных реальных задач конструирования, характерными свойствами рельефа указанных «островов» является наличие нескольких (иногда очень большого числа) «вершин», «хребтов» и замысловатых «фиордов». Поскольку оптимальные конструктивные решения, как правило, лежат на границе различных математически выраженных ограничений, то большинство «вершин» лежит на границе «острова», имеющего вертикальные «обрывистые берега». Каждая вершина на «острове» — это *локально оптимальное решение* для рассматриваемого технического решения. Наиболее высокую вершину на «острове» называют *глобально оптимальным решением*. Наиболее высокая вершина в пределах «архипелага» — глобально оптимальное решение для рассматриваемого физического принципа действия. Наиболее высокая вершина в пределах всех «архипелагов» — глобально оптимальное решение для рассматриваемого технического задания.

Следует заметить, что для нового технического задания «рельеф», как после крупной геологической катастрофы, сильно изменится: появятся новые «архипелаги» и «острова», а многие из существующих скроются «под водой».

Попытаемся ответить на вопрос: что представляет собой работа конструктора?

Конструктор, получив или сформулировав техническое задание, начинает двигаться по описанному «безбрежному океану». Такое движение вызывает значительные трудности, поскольку при этом происходит либо осмысливание и доработка известных технических решений (что можно сравнить с восхождением альпинистов на вершины, всегда окутанные туманом), либо построение, точнее изобретение, новых технических решений и физических принципов действия (что можно сравнить с подвижничеством мореплавателей XVI в., отправившихся на поиски неизвестных земель).

Таким образом, конструктор часто испытывает в полной мере драматизм и трагизм ситуаций, происходящих с альпинистами и средневековыми мореплавателями. Нужно учитывать еще, что нарисованная картина океана конструктивных решений сильно упрощена: в ней имеются задачи оптимизации параметров только с двумя переменными. На самом деле так называемая поверхность океана для реальных классов конструктивных решений имеет большее число измерений и переменных (иногда исчисляемое десятками и сотнями). Более того, число переменных является переменным при переходе от одного «острова» к другому, т. е. конструктор работает (движется) в многомерном пространстве с переменной размерностью. Попробуем количественно оценить сложность задачи поиска глобального оптимального конструктивного решения. Допустим, что необходимо выбрать наилучшие технические средства для ловли рыбы. В табл. 1 приведены некоторые физические принципы действия таких средств.

Технические средства для ловли рыбы

Физический принцип действия	Технические решения
<p>Принудительное заанкеривание при внедрении в тело рыбы ёршеобразного твердого тела</p> <p>Самозаанкеривание рыбы при заглаживании крючка с наживкой</p> <p>Ограничение свободы перемещения рыбы:</p> <p>при ликвидации водной среды</p> <p>при попадании в созданное ограниченное пространство</p> <p>при попадании в ячейку из гибкой нити с периметром, меньшим наибольшего поперечного периметра рыбы, и зацепление ячейки за жаберы или плавники, включая зацепление за соседние ячейки</p> <p>Убивание или глушение рыбы гидродинамической волной с последующим всплыванием рыбы на поверхность</p>	<p>Острога, гарпун, подводное ружье и т. п.</p> <p>Удочка, перемет, спиннинг и т. п.</p> <p>Каналы для осушения водоема, испарение воды и т. п.</p> <p>Невод, сачок, электромагнитное поле и т. п.</p> <p>Сети и т. п.</p> <p>Удар по воде, взрыв в воде динамита и т. п.</p>

Если взять только принцип действия гарпуна, то можно показать, что, комбинируя различные существующие технические решения, изменяя форму элементов, материал деталей, способы соединения элементов, используя новые функциональные элементы и т. д., можно получить не менее 10^{20} различных технических решений. Значит только первый «архипелаг» в таблице для отдельных технических заданий может иметь до 10^{15} и более «островов»! Если продолжить таблицу, то можно выписать около 100 различных принципов действия устройств и способов для ловли рыбы, основанных на самых различных физических, химических или биологических эффектах.

Таким образом, только один класс довольно простых технических систем (средств ловли рыбы) реально и потенциально содержит около 100 «архипелагов» принципиально различных конструктивных решений. Такие громадные масштабы невольно заставляют использовать астрономические понятия. В связи с этим множество существующих и возможных конструктивных решений одного класса технических систем, имеющих одинаковую основную функцию (назначение), можно сравнить и условно назвать «галактикой».

Средства ловли рыбы — это относительно небольшая «галактика». Существуют значительно большие «галактики», объединяющие, например, такие классы технических систем, как часы, устройства взвешивания, холодильники, легковые автомобили, телевизоры, самолеты и др.

Проведенный А.И. Половинкиным анализ истории техники позволил составить табл. 2, по которой в первом приближении можно судить о росте числа «галактик» и их собственном росте.

Таблица 2

Возрастание числа технических систем и их сложности

Время	Примерное число классов технических систем («галактик»)	Среднее число различных элементов в наиболее сложных технических системах
100 000 лет назад	5	1
10 000 — » —	50	10
1 000 — » —	1 000	100
Настоящее	50 000	10 000

Из таблицы видно, что мир техники и технологии — это стремительно расширяющаяся искусственная «Вселенная», в которой быстро увеличивается число «галактик» и еще быстрее растет каждая из них. Этот взрывообразный рост, усиленный современной научно-технической революцией, качественно изменяет многие стороны человеческой жизни, в том числе и сферу поискового конструирования.

Необходимость автоматизации поискового конструирования. При проектировании часто ставится цель — выпуск изделия на уровне лучших мировых образцов. Теоретически такую задачу можно решить, обследовав всю соответствующую «галактику» (все множество существующих и потенциально возможных технических решений) и выбрав в ней глобально оптимальное решение. Практически при решении такой задачи сначала выбирают (в том числе изобретают) и оценивают (интуитивно, вычисляя или экспериментируя) расширенное множество различных новых технических решений по виду изделия в целом и его агрегатам, узлам и деталям. Затем, анализируя и сопоставляя отдельные решения такого расширенного множества, выбирают комплекс (композицию) наиболее эффективных, непротиворечивых и взаимно усиливающихся новых технических решений, которые и обеспечивают создание изделий на уровне лучших мировых образцов. Так, для современных самолетов расширенное

множество включает от 1000 до 2000 новых решений, а окончательный комплекс—100—150. По-видимому, при таком подходе к проектированию новых изделий с большой вероятностью находят лучшую композицию решений в своей «галактике» или очень близкую к ней.

Возникает вопрос, есть ли реальная, возможность при проектировании изделий получать конструктивные решения на уровне лучших мировых образцов. То есть всегда ли выполняется такой же объем поискового конструирования, как указано в примере с самолетом. Начавшаяся и развивающаяся в XX в. научно-техническая революция привела к устойчивым изменениям, можно сказать по геометрической прогрессии, следующих показателей развития техники в ведущих отраслях промышленности:

- число различных классов технических систем удваивается в среднем через каждые 10 лет;
- сложность изделий по числу деталей и узлов возрастает в два раза через 15 лет;
- объем научно-технической информации, используемой в конструкторских разработках, удваивается через 8 лет;
- время создания новых изделий уменьшается в два раза через 25 лет, одновременно сокращается время морального старения изделий.

Приведенные показатели развития представляют собой осреднение по ряду областей техники. Эти показатели получены А.И. Половинкиным на основе фрагментарных статистических данных, имеющих в литературе, и некоторых предварительных оценок. Представляется целесообразным провести обстоятельные исследования основных ведущих отраслей техники, чтобы уточнить показатели их развития.

Это позволит получить важный статистический материал для обоснования народнохозяйственных планов, решения вопросов межотраслевой стандартизации, подготовки кадров и др. Если учесть совместное влияние всех этих факторов, то можно получить следующий результат: объем поискового конструирования в последнее время возрастает примерно в 10 раз через каждые 10 лет.

При сохранении ручной технологии конструирования необходимы такие же темпы увеличения числа специалистов. Однако их число может возрастать за 10 лет не более чем в три раза. В связи с этим возникает дефицит между необходимым и фактическим обеспечением работ. Если принять, что в 1950 г. объем поискового конструирования соответствовал обеспечению кадрами (это слишком оптимистическая посылка), то к 1980 г. (табл. 3) объем работ примерно в 40 раз превысил обеспечение кадрами! А в 1990 г. это превышение составило уже два порядка. Следовательно, на начальных стадиях

проектирования большинство изделий все менее и менее прорабатываются и все более не соответствуют уровню лучших мировых образцов. Это в основном и породило проблему улучшения качества вновь выпускаемых изделий.

Поэтому в ближайшее время темпы технического прогресса любой страны, в первую очередь, будут определяться степенью сокращения указанного дефицита (табл.3)

Таблица 3

Дефицит обеспечения работ по поисковому конструированию

Относительный рост	Год				
	1950	1960	1970	1980	1990
Объем работ по поисковому конструированию	1	10	100	1000	10 000
Число специалистов	1	3	9	27	81

А из различных путей устранения этого дефицита самым эффективным является автоматизация поискового конструирования.

Проектирование, и особенно поисковое конструирование, — это, пожалуй, единственная область деятельности человека, в которой с момента ее возникновения до наших дней достигнуты самые мизерные результаты в повышении производительности труда. Если взять количественную оценку роста производительности труда в технически развитых странах, то с 1900 по 1960 гг. производительность труда в производстве выросла в среднем на 1000%, а в конструировании — лишь на 20%.

Хочется отметить еще одну важную причину автоматизации поискового конструирования для повышения качества разрабатываемых изделий. Как уже говорилось, технические системы становятся все более сложными, увеличивается количество узлов и деталей, из которых они состоят, что неизбежно приводит ко все большему разделению труда и увеличению числа специалистов, разрабатывающих одно и то же изделие. Причем с одной стороны, нелнейно быстро растет число согласований между отдельными специалистами (все эти согласования уже невозможно обстоятельно обсудить и принять по ним наиболее подходящие решения), с другой — теряется единое цельное представление об изделии (каждый специалист имеет свою точку зрения о взаимодействии разрабатываемого им узла с другими узлами и изделием в целом). В результате часто оказывается, что все узлы, с точки зрения отдельных разработчиков и экспертов, имеют хорошие показатели, а изделие в целом малоэффективно или даже неработоспособно. Указанную

причину снижения качества новых сложных изделий можно устранить, только резко повысив производительность конструкторов, если, как и 50—100 лет назад, изделие будут разрабатывать не более 10 конструкторов, а еще лучше — один! То есть вернуться к старому на основе автоматизации конструирования.

На протяжении всей истории человечества господствовала, можно сказать, «ручная» технология поискового конструирования, которая во второй половине XX в. стала сильным тормозом в дальнейшем повышении темпов технического прогресса и развитии производительных сил общества. При современном уровне и возможностях технологии, которая в отличие от технологии XIX в. и XX в. позволяет быстро освоить производство практически любых изделий, темпы технического прогресса определяются темпами производства новых, значительно более эффективных конструктивных решений. В связи с этим возникла и стала одной из самых важных проблема автоматизации поискового конструирования.

Решение этой проблемы фактически связано с разработкой автоматизированных систем поискового конструирования и в итоге с созданием *машинной технологии поискового конструирования*, не имеющей аналогичных прецедентов в истории. Очень грубо использование указанных систем можно сравнить с применением высокопроизводительных драг для добывания алмазов, в сотни раз повысивших эффективность поиска по сравнению с ручной технологией. Системы поискового конструирования—это мощный усилитель интеллекта инженеров, который позволит также сначала в десятки, а затем в сотни раз повысить производительность конструкторов в поиске новых решений и одновременно обеспечит значительное улучшение качества разрабатываемых изделий. Однако более важный результат будет состоять в том, что машинная технология поискового конструирования *обеспечит разработку принципиально новых высокоэффективных машин и сложных технических комплексов, которые без такой технологии невозможно создать* так же, как немислимы без вычислительной техники атомная энергетика, космические полеты и роботостроение.

1.5.8. Решение задач и творчество

Исследования творчества. Рассмотрим соотношение творчества и решения задач.

Понятие творчества, как известно, весьма многогранно. Многие из его трактовок при всех своих достоинствах не подходят для наших целей, будучи либо слишком широки (таково, например, понятие

«творчества в самом широком смысле... как механизма развития, как взаимодействия, ведущего к развитию»), либо чересчур узки (здесь мы имеем в виду принятое в социологии, науковедении, искусствоведении и других науках понятие творчества как создания продуктов, обладающих выраженной социальной ценностью и новизной). **Нас интересует творчество в психологическом плане как совокупность тех компонентов деятельности субъекта, которые хотя бы для него оказываются носителями принципиально новых качеств.**

В соответствии с проблематикой настоящей работы сосредоточим внимание на том, с какими характеристиками решаемых субъектом задач сопряжено творчество.

Начнем с введенного в 1.3.1 различения задач сохранения (удержания) существующего положения вещей и задач его изменения. Какой из этих типов задач в большей мере требует творчества? Поначалу ответ представляется очевидным: **ведь именно в инновациях принято видеть сущность творчества.** В действительности дело обстоит сложнее. Во-первых, изменение существующего положения приводит к состоянию, новому по сравнению с тем, которое непосредственно предшествовало ему, но отнюдь не обязательно – к принципиально новому. Во-вторых, задачи удержания сложнее многих инновационных в том отношении, что требуют учета не только актуальных, проявляющихся в данный момент, но и потенциальных свойств предмета задачи, прогнозирования его возможных изменений. На этой основе часто должны предприниматься действия, отличные от тех, к которым побуждает решающего восприятие наличной ситуации. А это значит, что предъявляются дополнительные требования к его волевым и интеллектуальным качествам.

Итак, характер результата решения задачи (изменение наличного состояния или обеспечение его сохранения) не может служить критерием творчества.

Следующее предположение, которое мы обсудим, состоит в том, что такой критерий лежит в новизне для субъекта используемого им способа решения. Ее мы отражаем посредством понятия о нерутинной задаче, которое явилось уточнением широко используемого понятия «проблемная задача». **Известно, что термины «проблемная задача» и «творческая задача» часто употребляются как синонимы. Но оправдан ли подобный подход?**

Представим себе такую ситуацию. Пусть ребенок дошкольного возраста должен путем последовательного нажатия на несколько кнопок находящегося перед ним аппарата добиться того, чтобы зажглась его лампочка. Пусть ребенок не владеет никаким способом,

обеспечивающим с достаточно высокой вероятностью решение задачи (в том числе и способом систематического перебора возможных последовательностей). Тем не менее не исключено, что, действуя методом проб и ошибок, он в конце концов решит задачу. Задача является здесь нерутинной для ребенка, но для ее решения не требуется творчество (как оно интуитивно понимается), а значит, нет оснований считать эту задачу творческой.

Мы постарались выбрать яркий пример. Но в плохо организованном учебном процессе встречается множество ситуаций, когда учащиеся, не владея способами решения предлагаемых им задач, действуют наугад, вслепую перебирая известные им возможности. При этом иногда они попадают в точку: результат совпадает с приведенным в учебнике ответом или одобряется учителем. В таких случаях оказываются решенными нерутинные задачи – но никак не творческие.

Итак, из того, что задача является нерутинной для субъекта, не следует, что она требует от него творчества. Но может быть, хотя бы из того, что задача является квазирутинной для него, можно сделать вывод, что творчества от него не требуется? Такая гипотеза выглядит весьма правдоподобной.

Обратимся опять к примеру. Предположим, что редактор газеты поручил журналисту срочно подготовить материал на определенную тему. Этот журналист в прошлом всегда успешно справлялся с такого рода заданиями, и редактор уверен, что он не подведет и на этот раз. Значит, решаемую журналистом задачу – если рассматривать ее решение как единый акт, не вникая в механизм его осуществления, – можно считать квазирутинной для этого журналиста. Правда, может возникнуть вопрос: где здесь квазиалгоритм решения задачи, которым владеет журналист? По меньшей мере, один такой квазиалгоритм указать можно. Он предусматривает выполнение одной операции, которая совпадает с упомянутым выше актом и в ситуации данного типа обеспечивает (с вероятностью, достаточно близкой к единице) подготовку требуемого материала. (Следует уточнить, что мы применяем общее понятие операции в отличие, например, от одноименного понятия, используемого в концепции А. Н. Леонтьева. Исследователь вправе выделять в деятельности субъекта и мелкие и крупные операции. Он должен только, если речь идет об операциях, предусматриваемых квазиалгоритмом, быть уверен в высокой вероятности их успешного выполнения субъектом).

Приведенный пример иллюстрирует важную особенность заданной структуры деятельности. В дополнение к той очевидной закономерности, что нерутинная задача может включать в себя квазирутинные подзадачи, существуют также и нерутинные подзадачи

квазирутинных задач. Такие подзадачи, скорее всего, пришлось решать нашему журналисту, чтобы оправдать оказанное ему доверие.

При этом надо, однако, учесть следующее. Задача перед журналистом поставлена таким образом, что он обладает большой свободой в ее дальнейшем уточнении и выборе способа ее решения. В каждом из уточненных вариантов задача может быть для него нерутинной, так что он вполне может не добиться удачи. Почувствовав это, он переходит к другому, затем, возможно, к третьему варианту – и в результате практически всегда задание оказывается выполненным.

Итак, нерутинность задачи сама по себе не является ни достаточным, ни необходимым условием для того, чтобы задачу можно было считать творческой.

Несомненно, рассматриваемые свойства задач взаимосвязаны, но связь эта не столь проста, как представлялось поначалу.

По всей видимости, нельзя с уверенностью судить о том, носит ли решаемая субъектом задача творческий характер, абстрагируясь от особенностей познавательных процессов, которые должны быть осуществлены для ее решения. Учитывая это, мы сочли необходимым опереться на материалы проведенного в настоящей главе анализа познавательных задач. Мы имеем в виду очевидную связь творчества с использованием пути «в» решения познавательных задач (генерирования недостающей информации, см. 1.5.2) и с благоприятствующим такому использованию открытым характером решаемой задачи (см. 1.5.4).

Учитывая сказанное, попытаемся дать в нашей системе понятий определение *творческой задачи*. При этом будем стремиться к тому, чтобы оно в максимально возможной степени соответствовало интуитивному представлению о таких задачах как предполагающих получение – способом, новым для решающего задачу субъекта, – некоторого (окончательного или промежуточного) результата, также являющегося, – по крайней мере, для этого субъекта – принципиально новым.

Мы называем отнесенную задачу m_q творческой, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

а) m_q является нерутинной открытой познавательной задачей;

б) необходимым условием разрешимости задачи M_Q служит то, что ее подзадачей является некоторая нерутинная открытая познавательная задача n_q .

В качестве упомянутой подзадачи n_q часто выступает задача нахождения способа решения задачи m_q .

Все отнесенные задачи, не являющиеся творческими, будем называть *нетворческими*.

Рассмотрим в качестве примера задачу, где требуется «перечислить все возможные виды использования обычного кирпича». Эта задача является открытой нерутинной познавательной задачей, а следовательно, и творческой задачей практически для любого человека. (О рассматриваемой и подобных задачах говорят, что они требуют «дивергентного продуцирования», или «дивергентного мышления»). Такие задачи используются в получивших распространение на так называемых тестах творческих способностей (*creativity tests*). Однако, хотя сами по себе эти задачи и следует относить к творческим, отнюдь не доказана целесообразность их использования для прогнозирования успешности решения сложных творческих задач). В самом деле, вряд ли кто-либо обладает то ли прямой информацией обо всех элементах множества, включающего в себя множество всех возможных видов использования кирпича, так что задача является для такого человека закрытой, то ли квазиалгоритмом решения этой задачи (об алгоритме нет и речи), так что задача является для него квазирутинной.

Вернемся к приведенному выше определению творческой задачи и специально обратим внимание на то, что, для того чтобы задачу M_q можно было считать творческой, достаточно выполнения хотя бы одного из условий «а» и «б». Если условие «б» соблюдается, то условие «а» может и не выполняться. Задача M_Q может, в частности, быть квазирутинной (вспомним рассмотренный выше пример с журналистом). Она также может быть закрытой, как, например, задача, сформулированная в виде вопроса: «Справедлива ли континуум-гипотеза?» Над нею, как известно, несколько десятилетий бились лучшие математики мира, пока наконец не была доказана ее неразрешимость.

Существенно, что на вопрос о том, является ли задача творческой (так же, как и о том, например, является ли она нерутинной), нельзя отвечать, абстрагируясь от характеристик решателя. Задача, являющаяся творческой для школьника, сплошь и рядом не является таковой для учителя. **Задача, являющаяся творческой для конкретного ученого, очень часто уже давно не является таковой для человечества.**

Обеспечивая условия, при которых некоторая нерутинная познавательная задача m_q (или задача нахождения способа решения задачи m_q , выступающая в качестве ее подзадачи) будет обязательно или с высокой вероятностью открытой, мы тем самым повышаем вероятность того, что задача m_q окажется творческой. К числу таких

условий относится обеспечение, по крайней мере, для одного из предметов, искомым в задаче m_q (или в задаче нахождения способа ее решения), возможно большего числа достижимых приемлемых результатов решения.

Не случайно академик П. Л. Капица обычно строил свои задачи, рассчитанные на выявление и развитие творческих способностей студентов, «так, чтобы подходов к их решению было несколько, с тем чтобы и в выборе решения могла проявиться индивидуальность студента». У. Рей, «тренируя испытуемых на задачах, требующих только одного решения, и на задачах, допускающих несколько вариантов решения, нашел, что тренировка на задачах с одним решением отрицательно сказывается на оригинальности мышления».

Приведем здесь и слова А. Эйнштейна, не потерявшие поныне своей актуальности: «В сущности, почти чудо, что современные методы обучения еще не совсем удушили святого любознательность, ибо это нежное растение требует наряду с поощрением прежде всего свободы – без нее оно неизбежно погибает».

Говоря о месте творческих и нетворческих задач в деятельности субъекта, следует учитывать доопределение им предлагаемых извне задач (см. 1.4.4). Внешняя задача может не быть творческой, но построенная на ее основе внутренняя может тем не менее оказаться таковой благодаря наложению решающим ее субъектом дополнительных условий, которым должен удовлетворять результат или процесс решения. Ситуации такого типа возникают, в частности, в тех случаях, когда субъект, склонный к творчеству, должен выполнять отнюдь не творческие трудовые задания. Нередко он находит возможность придать своей работе творческий характер (т. е., в нашей терминологии, сделать творческими внутренние задачи). Это явление представляет интерес в социальном плане в двух отношениях. Во-первых, при рациональной организации труда оно непосредственно ведет к повышению его эффективности и качества его продуктов, что наглядно проявляется в деятельности рабочих-новаторов. Во-вторых, оно способствует тому, чтобы «труд был привлекательным трудом, чтобы он был самоосуществлением индивида, что ни в коем случае не означает, что этот труд будет всего лишь забавой всего лишь развлечением...».

Проанализируем теперь некоторые рассмотренные нами ранее свойства задач с точки зрения того, способствуют ли они тому, чтобы эти задачи оказались творческими.

Обратимся прежде всего к такому свойству, как наличие доступа к внешней информации (о чем говорилось в конце 1.5.1). Благоприятствует ли оно творческому характеру деятельности по

решению задачи? Однозначно ответить на этот вопрос нельзя. С одной стороны, свободный доступ к внешним источникам информации нередко побуждает субъекта попыткам отыскать там готовый ответ или нечто близкое к нему, а это может мешать выработке собственных идей, затруднять получение оригинального результата.

А теперь посмотрим на обсуждаемую проблему с другой стороны. С этой целью уточним проведенное только что рассуждение. Мы выдвинули альтернативу: использовать информацию (имеющуюся в готовом виде) или генерировать ее. Но существует и третий вариант: недостающую информацию можно просто вспомнить. В учебном процессе чаще всего реализуется именно он, и возможности для проявления и развития творческих возможностей обучаемых оказываются минимальными.

Разумеется, лучшие педагоги с этим не мирятся. Так, академик П. Л. Капица, разработав серию физических задач проблемного характера и предлагая их студентам на экзаменах, предоставлял «полную свободу в пользовании литературой... Для аспирантских экзаменов составлялись новые и более сложные задачи, но здесь разрешалось экзаменуемому не только пользоваться литературой, но и консультацией». **В. М. Аганисьян описывает организацию выполнения проверочных заданий с разрешением при этом пользоваться учебниками как один из компонентов системы мер, направленных на развитие творческого мышления студентов педагогических вузов.**

Экзаменационные задачи, решаемые с доступом к внешней информации, лучше моделируют задачи научного исследования. Это объясняется не только тем, что последние сами решаются при наличии такого доступа (пусть на определенных этапах – ограниченного), но и тем, что его введение позволяет повысить уровень неrutинности задачи при сохранении практически приемлемого уровня ее трудности.

Использование задач, решаемых с доступом к внешней информации, представляет интерес не только для высшего образования. В Павлышской школе, возглавлявшейся В. А. Сухомлинским, при повторении материала по гуманитарным предметам широко практиковалась постановка перед учащимися проблемных вопросов. Подготовившись дома к ответам на них, «ученики спорят с книгой в руках, доказывают свои мысли ссылками на источники. При такой постановке вопросов отвечать с помощью книги значительно труднее, чем без книги».

Г. А. Ягодин высказался за переход – и в вузе, и в средней школе – к системе таких экзаменов, «когда можно пользоваться

всем, чем угодно, но нужно показать, что ты можешь оперировать тем багажом знаний, который у тебя есть».

Рассмотрим теперь соотношение творческого или нетворческого характера задачи со степенью ее четкости. Многие задачи, решаемые в профессиональной творческой деятельности, являются поначалу нечеткими и становятся квазичеткими в результате накопления социального опыта их решения. «Например, – пишет Х. Дрейфус, – у художника нет никакого критерия, с помощью которого он мог бы определить, что является решением стоящей перед ним художественной задачи... Впоследствии его работа, возможно, послужит основанием для определения стандартных требований, обеспечивающих успех, но тем не менее сам успех первичен по отношению к канонам, вводимым позднее критиками».

Существуют, конечно, четкие творческие задачи. Они характерны, например, для деятельности математиков и шахматистов. Важно, однако, что, будучи четкими в своей исходной постановке, эти задачи предполагают решение многих нечетких подзадач. Отмечается, что существенные трудности в шахматной игре связаны с определением подцелей, с «построением конкретного образа того, что должно быть достигнуто».

При наличии у субъекта творческой направленности нечеткость предложенной ему внешней задачи способствует тому, чтобы построенная на ее основе внутренняя задача оказалась творческой. В этой связи обратимся вновь к задачам П. Л. Капицы. Их характерной чертой «является то, что они не имеют определенного законченного ответа, поскольку студент может по мере своих склонностей и способностей неограниченно углубиться в изучение поставленного вопроса». Приведем в качестве примера формулировку одной из таких задач.

«Перечислите факторы, которые сказываются на точности хода карманных часов. Оцените относительные значения этих факторов».

Вместе с тем явно нетворческая – четкая или квазичеткая – внешняя задача часто служит основой, на которой субъект строит творческую внутреннюю задачу, причем последняя может быть нечеткой и может вообще не формулироваться. Такого рода явления характерны для деятельности в области искусства. Например, для музыканта-исполнителя, в должной мере владеющего техникой игры на каком-либо инструменте, нотный текст можно рассматривать как запись квазиалгоритма. Но задача реализации этого квазиалгоритма представляет собой лишь основу, на которой должна строиться решаемая исполнителем творческая задача.

Наконец, последнее замечание. Известно, что **важнейшую роль в творческой деятельности играют процессы постановки задач**. никоим образом не ставя под сомнение этот тезис, подчеркнем, что не всякая «задача постановки задачи» является творческой, а только такая, которая удовлетворяет сформулированным выше общим требованиям к творческим задачам. Напомним в этой связи, что методы решения задач «путем выработки и последующего решения подзадач» широко используются и в системах искусственного интеллекта. Разумеется, реализация такого рода методов – будь то машиной или человеком – сама по себе творчеством вовсе не является.

1.6. Оценка трудности и сложности задач

В разделах 1.4 и 1.5 мы рассмотрели ряд понятий, обеспечивающих качественную характеристику задач, т. е. их отнесение к тем или иным типам. Обратимся теперь к понятиям, которые открывают возможность для количественной оценки задач и позволяют дополнить дискретный подход к описанию их свойств непрерывным.

Основными из понятий этого рода являются уровни трудности и сложности задач. В обиходной речи, а нередко и в научной литературе термины «трудность» и «сложность» используются при описании задач почти как синонимы. Между тем целесообразно разграничивать области их употребления. Более того, каждое из этих понятий нуждается в дальнейшей дифференциации.

Проводя ее, мы будем пользоваться, помимо прочего, понятиями *субъективности* и *объективности*. Заметим в связи с этим, что термин «субъективный» (зависящий от субъекта) употребляется в разных смыслах. Необходимо различать субъективность в онтологическом смысле (зависимость от субъекта как элемента бытия) и в гносеологическом смысле (зависимость от познающего субъекта, от осуществляемого им процесса познания). Сопоставим, к примеру, высказывания «Особенности обучающих и обучаемых выступают как субъективные факторы эффективности обучения» и «При оценивании знаний учащихся учителями могут сказываться их субъективные предпочтения». В первом высказывании термин «субъективный» употреблен в онтологическом смысле, а во втором – в гносеологическом. Соответствующим образом имеет смысл различать и два вида объективности (независимости от субъекта).

Прежде чем перейти к изложению конкретного материала, подчеркнем, что разработка методов оценки количественных характеристик задач имеет важное практическое значение в плане

совершенствования процесса обучения. Справедливо отмечается, что «умение классифицировать задачи по сложности – важная составная часть общего умения учителя составлять системы задач для учащихся». В особенности возрастает важность оценивания количественных характеристик задач в условиях компьютеризации обучения.

1.6.1. Уровень трудности задачи. Уровень нерутинности задачи

В качестве одного из существенных признаков задачи, проблемы, проблемной ситуации психологи называют обычно необходимость преодоления субъектом тех или иных трудностей (затруднений). При этом важную роль играет их качественный анализ. Мы, однако, ограничимся рассмотрением количественного аспекта трудности задач, или, иначе говоря, уровня их трудности. Но для этого потребуется предварительно ввести понятие *ресурсов решателя*. Будем относить к ним находящиеся в его распоряжении средства решения задач, а также время, в течение которого эти средства могут функционировать. Существенное свойство ресурсов состоит в том, что в ходе функционирования решателя они расходуются, т. е. переходят в такое состояние, когда не могут быть вновь использованы (по крайней мере, в течение некоторого времени или без специальных операций по их восстановлению).

Задача m_q , отнесенная к решателю Q , обладающему некоторыми (ограниченными) ресурсами, может быть **охарактеризована уровнем трудности этой задачи, т. е. мерой фактического или предполагаемого (прогнозируемого) расходования ресурсов решателя Q на ее решение.**

Уточним, что «решение задачи» понимается нами в соответствии с определением, данным в 1.3.2, т. е. имеется в виду успешное решение – приведение предмета задачи в требуемое состояние. Если ресурсы решателя Q недостаточны (в качественном или количественном отношении) для решения задачи m_q , то последняя не может быть решена (этим решателем). Об уровне трудности задачи m_q в таком случае можно говорить лишь условно (считая его бесконечным). Если решение задачи достигается лишь с некоторой вероятностью, меньшей единицы, то уровень ее трудности естественно считать большим, чем следует из оценки реально расходуемых ресурсов.

Уровнем трудности, как он определен выше, можно в принципе характеризовать и задачи, отнесенные к искусственным решателям,

например искусственным интеллектам. Вместе с тем для неотнесенных задач (как правило, также и для задач, отнесенных к идеализированным решателям) понятие трудности лишено смысла.

Уровень трудности отнесенной задачи m_q зависит от характеристик как неотнесенной задачи M , так и решателя Q . Как явствует из приведенного выше определения уровня трудности, это понятие непосредственно относится не к задаче как таковой, а к процессу (реальному или предполагаемому) ее решения. Если некоторая задача может быть решена различными способами, то уровень ее трудности может существенно зависеть от того, каким именно способом она решается.

Имеет смысл различать *интегральную трудность* (трудоемкость) задачи, характеризующую объем расходования ресурсов (ср. физическое понятие работы), и *дифференциальную трудность*, характеризующую интенсивность расходования. При этом можно выделять мгновенные значения последней и значение, усредненное на отрезке времени, в течение которого решается задача (ср. физические понятия мгновенного значения мощности и средней мощности).

Для количественной оценки трудности решаемых людьми задач используют различные показатели – субъективные и объективные (в гносеологическом смысле).

Субъективные показатели можно разделить на две группы. Показатели **первой группы** отражают мнения или впечатления самих субъектов, решающих задачи, об их трудности, о вызванном ими утомлении, а показатели **второй группы** – мнения экспертов (учителей и методистов в случае учебных задач, руководителей работ в случае трудовых задач и т. д.). Субъективные показатели обеих групп используются, в частности, для характеристики трудности текстов, в том числе учебных.

На две группы делятся и *объективные показатели*. К первой относятся те из них, которые характеризуют расходование ресурсов субъектом. Сюда, в частности, входят: а) физиологические показатели, например изменения частоты пульса, частоты дыхания, артериального давления; б) продолжительность процесса решения; в) дискретные поведенческие показатели, характеризующие объем расходования ресурсов (объем затраченного труда), такие, например, как количество предпринятых субъектом попыток решения задачи.

Показатели подгрупп «б» и «в» являются показателями интегральной трудности, однако сами по себе не всегда адекватно характеризуют ее (например, при малой вероятности достижения решения задачи). В таких случаях приходится учитывать также

объективные показатели второй группы: они характеризуют степень успешности процесса решения задачи или качество достигаемого результата. В дальнейшем будем коротко называть их *показателями успешности*. Таковы, в частности, вероятность того, что субъект решит задачу, количество допускаемых им ошибок, количество обращений за помощью, количество подсказок, которые пришлось дать ему, чтобы задача оказалась решенной, и т. д. (Если считать, что успешность улучшается с увеличением каждого показателя успешности, то последние три показателя должны быть взяты с обратным знаком.)

В ряде экспериментальных исследований были установлены корреляции между показателями трудности, относящимися к разным группам. Например, по данным А. М. Сохора, варианты изложения учебного материала оказались одинаковым образом проранжированными по доступности на основе как экспертных оценок учителей и других специалистов, так и индивидуальных экспериментов по проверке усвоения учащимися этого материала.

Заметим при этом, что использование для оценки трудности задач впечатлений тех, кто их решает, требует учета мотивационных характеристик деятельности этих лиц. Так, некоторые учебные тексты по иностранному языку, «которые по всем параметрам оказались самыми трудными, относились по субъективным оценкам учащихся к легким (например, текст о спорте...)».

В ряде случаев уровень трудности задачи характеризуется каким-либо одним показателем. В частности, о трудности включаемых в тесты заданий для некоторого контингента испытуемых судят обычно, исходя из вероятности их правильного выполнения (которую, в свою очередь, оценивают по проценту испытуемых, правильно выполнивших задание).

Как следует из сказанного выше, в принципе более адекватной является оценка **интегральной трудности задачи совокупностью двух или большего числа показателей**. Так, для оценки процесса формирования навыка (который может быть интерпретирован как процесс существенного снижения трудности задач некоторого класса) следует, согласно К. М. Шоломию, использовать два критерия: **количество ошибок и время выполнения заданий**.

Вместо того чтобы оценивать уровень интегральной трудности задачи совокупностью двух (или большего числа) показателей, можно представить его как их функцию, например, возрастающую при увеличении продолжительности решения или иного показателя, характеризующего объем затраченного труда, и убывающую при увеличении показателя, характеризующего успешность процесса решения. Такой подход был применен для оценки трудности

предлагаемых для усвоения фрагментов учебного материала (в программированном обучении – «шагов» или «доз»).

Подход, этот, однако, накладывает лишь весьма общие ограничения на вид функции, используемой в качестве меры трудности задачи. Значительно большая определенность в установлении такой меры достигается при использовании следующего метода: **интегральная трудность ϕ задачи M_Q определяется объемом ресурсов, которые должен израсходовать субъект для достижения зафиксированного (эталонного) значения показателя успешности γ** . Так, например, в экспериментах по формированию двигательных навыков в качестве меры трудности задачи используется «число упреждений, необходимых испытуемому для достижения критерия».

В тех случаях, когда значение показателя успешности γ , которое удобно считать эталонным (обозначим это значение символом γ_0), практически не достигается, величина трудности ϕ часто может быть найдена путем экстраполяции зависимостей, установленных экспериментально в диапазоне значений показателя γ , не включающем γ_0 . В этих случаях величина ϕ , имея **размерность показателя объема расходуемых ресурсов**, тем не менее не представляет никакого реального отрезка времени (или количества предъявлений и т. п.), зафиксированного в эксперименте. Экстраполяция описанного типа оказалась полезна, в частности, в экспериментальном исследовании влияния «размера шага» на эффективность программированного обучения.

Чтобы повысить адекватность оценивания трудности задач, обращаются к методам математической статистики. Так, Я. А. Микк, измерив значения 31 показателя трудности задачи понимания текста и проведя факторный анализ, выделил фактор, который он интерпретировал как **«суммарную трудность текста»**. **На основе результатов анализа получен ряд формул, связывающих этот фактор с отдельными показателями трудности, доступными непосредственному измерению.**

Отметим теперь, что рассмотренные выше понятия интегральной и дифференциальной трудности при всей их полезности охватывают не все даже количественные аспекты того содержания, которое вкладывается в традиционное, интуитивное понятие трудности задачи. Еще один такой аспект представляется возможным учесть с помощью понятия о *уровне* проблемности, или, точнее, *нерутинности*, задачи. Так мы называем характеристику, показывающую, в какой мере решатель, для того чтобы обеспечить решение этой задачи, должен выйти за пределы находящихся в его распоряжении алгоритмов и квазиалгоритмов решения задач.

Рассмотрим простой пример. На одной из математических олимпиад участвовавшим в ней школьникам была предложена *такая* задача: найти сумму всех трехзначных чисел, все цифры которых нечетны. Часть участников олимпиады пошла по наиболее простому, естественному пути: составляется полный список чисел, удовлетворяющих поставленному условию, и вычисляется их сумма. Интересно, однако, что ни один из школьников, выбравших этот путь, не успел в отведенное время довести до конца процесс решения и получить ответ. Другие участники олимпиады пошли по пути отыскания формулы, которая позволяет получить ответ без того, чтобы выписывать и складывать все подходящие числа. Многие из этих школьников успешно решили задачу.

Возникает вопрос: при каком способе решения задачи ее следует признать более трудной для учащихся? Очевидно, это зависит от того, что понимать под трудностью. Если пользоваться нашей системой понятий, то следует констатировать, что интегральная трудность рассматриваемой задачи при первом способе решения выше, чем при втором, однако уровень ее нерутинности при первом способе решения близок к нулю.

1.6.2. Уровень сложности задачи

В отличие от трудности, представляющей собой специфическую характеристику задач, **сложность** – это характеристика, применимая к любой системе. Общее понятие об уровне сложности системы (см. 1.1.1) может касаться, в частности, таких систем, как предмет задачи, задачная система или формулировка задачи. Мы, однако, говоря об **уровне сложности задачи**, имеем в виду сложность не какой-либо из этих систем, а реального или предполагаемого процесса решения задачи. Такая трактовка, на наш взгляд, в наибольшей степени соответствует интуитивному представлению о сложности задачи. К тому же при указанной трактовке уровня сложности задачи достигается полный параллелизм с понятием об уровне ее трудности, которое, как указывалось в 1.6.1, характеризует реальный или предполагаемый процесс решения задачи. Трактующее описанным образом понятие об уровне сложности задачи так же, как и понятие об уровне ее трудности, имеет смысл только для отнесенных задач. При этом, однако, в отличие от понятия об уровне трудности понятие об уровне сложности применимо и к задачам, отнесенным к идеализированным решателям, ресурсы которых можно считать бесконечными. Понимая сложность задач как сложность процессов их решения, можно рассматривать, с одной стороны, реальные или

возможные процессы решения задач разными решателями и, с другой стороны, процессы их решения нормативными способами. В соответствии с этим имеет смысл различать два вида сложности задач: *реальную*, т. е. сложность реального или возможного процесса решения задачи, и *нормативную*, т. е. сложность процесса ее решения нормативным способом. (Термин «реальная сложность» носит не только условный характер: он относится и к сложности возможного процесса решения задачи, в том числе такого, который соответствует какой-либо гипотезе, выдвинутой исследователем).

Если существует несколько нормативных способов решения некоторой задачи M_0 , то ее можно охарактеризовать несколькими значениями нормативной сложности. Например, одна и та же математическая задача может обладать для одного и того же решателя разной сложностью в зависимости от того, как ее решать – арифметическим или алгебраическим способом.

Реальная сложность задачи, как правило, выше или равна нормативной, но иногда бывает и ниже, т. е. фактический процесс решения оказывается проще нормативного (например, задуманного учителем, если рассматривается решение задач учащимися). В таких случаях говорят иногда о «красивом (изящном) решении».

Обычно, если уж различают понятия о трудности и сложности задач, то трактуют **«сложность задачи как объективную категорию и трудность как субъективную категорию»**. Мы процитировали И. Я. Лернера, поясняющего, что **«трудность характеризует возможность субъекта преодолеть объективную сложность задачи...»**. С нашей точки зрения, такая трактовка правомерна в качестве первого приближения к раскрытию существа дела. Более детальный анализ показывает, однако, что и трудность, и сложность задач (отнесенных к людям, которые решают или должны решать их) зависят как от объективных, так и от субъективных (в онтологическом смысле) факторов. К объективным принадлежит: лежащий вне субъекта предмет задачи или (для познавательных задач) объект познания; требование задачи, находящееся вне субъекта (в случае, если рассматривается трудность или сложность внутренней задачи, – требование внешней задачи, являющейся источником возникновения рассматриваемой внутренней); наконец, условия, в которых осуществляется или должно осуществляться решение задачи. К субъективным факторам относятся способности и подготовка субъекта, его мотивы и установки, его отношение к задаче, его физическое и психическое состояние.

Разумеется, соотношение объективных и субъективных факторов для трудности задач и разных видов их сложности различно.

Трудность задачи – это наиболее субъективная (в онтологическом смысле) характеристика. Она, конечно, зависит и от объективных факторов, но эта зависимость полностью опосредуется характеристиками субъекта. Очевидно также большое влияние субъективных факторов на реальную сложность задачи. **Нормативная сложность задачи в большей мере носит объективный характер** Она, как правило, не зависит от особенностей отдельных субъектов (учащихся, испытуемых), но может существенно зависеть от контингента субъектов. Это связано с тем, что, во-первых, для разных контингентов часто планируются различные нормативные способы решения одной и той же задачи, и, во-вторых, для них могут быть весьма различны наборы элементов (в частности, **операторов и операндов**), используемых в процессе решения, так что процессы решения, весьма сходные с точки зрения внешнего наблюдателя, могут обладать для разных контингентов разной сложностью. Как отмечал Л. С. Выготский, «не может быть никаких сомнений в том, что запомнить один и тот же материал мыслящему в понятиях и мыслящему в комплексах – две совершенно разные задачи, хотя и сходные между собой... В одном и в другом случае смысловая структура материала различна».

Заметим, что выделение элементов (компонентов) в любом объекте, т. е. представление этого объекта в виде системы, всегда зависит в той или иной степени от субъектов, работающих с этим объектом, а потому в сложности любого объекта всегда присутствует наряду с объективным субъективный аспект. Это справедливо, в частности, для таких объектов, «как способы решения задач, отнесенных к идеализированным решателям, а также для различных объектов (лингвистические, математические и пр.), из которых строятся предметы задач. Субъективный аспект во всех этих случаях проявляется, однако, еще в меньшей степени, чем в нормативной сложности задач, отнесенных к людям. К тому же, этот аспект связан здесь с характеристиками уже не субъекта, решающего задачу, а исследователя.

1.6.3. Алгоритмический подход к оценке сложности задач

Наиболее четко содержание понятий о реальной и нормативной сложности задач выявляется при *алгоритмическом подходе* к оценке сложности. В соответствии с ним **реальную сложность задачи** оценивают по количеству эффективных или квазиэффективных операций в реально осуществляемом (или таком, который, возможно, осуществляется) алгоритмическом или квазиалгоритмическом

процессе решения этой задачи, а **нормативную сложность задачи** – по количеству таких операций в нормативном алгоритмическом или квазиалгоритмическом способе ее решения.

Следует учитывать при этом, что невозможность указания алгоритмического или квазиалгоритмического способа решения задачи, являющегося нормативным, т. е. таким, согласно которому должна решаться задача, вовсе не исключает возможности описания фактически реализованного алгоритмической или квазиалгоритмического способа ее решения (так как в последнем случае достаточно перечисления наблюдавшихся операций и не требуется указания условий, при которых должны осуществляться те или иные операции). Поэтому в ряде случаев реальная сложность задачи известна, а нормативная – неизвестна.

Нормативный алгоритмический или квазиалгоритмический способ решения предназначается, как правило, для некоторого класса задач. В зависимости от особенностей конкретной индивидуальной задачи минимальное количество эффективных или квазиэффективных операций, необходимых для решения задачи в соответствии с этим способом, может быть различно. Ввиду этого представляет интерес *средняя нормативная сложность* задач того или иного класса. Если учитывается k индивидуальных задач, относящихся к данному классу, то такая средняя сложность $\chi_{\text{ср}}$ может быть подсчитана по формуле

$$\chi_{\text{ср.}} = \sum_{i=1}^k \chi_i P_i$$

где χ_i – нормативная сложность i -й индивидуальной задачи; P_i – вероятность того, что будет решаться именно эта задача (этот вариант родовой задачи).

Величину $\chi_{\text{ср}}$ можно считать **мерой нормативной сложности родовой задачи**, соответствующей описываемому классу индивидуальных задач. Другим показателем этой сложности является **длина самого алгоритма** (или квазиалгоритма), в соответствии с которым решается задача, т. е. **количество операций, явным образом указанных в этом алгоритме (или квазиалгоритме)**.

Приведем примеры использования алгоритмического подхода для оценки нормативной и реальной сложности задач.

Первый пример относится к геометрическим задачам на построение, решаемым с помощью циркуля и линейки. Принято выделять **четыре вида элементарных операций**, используемых при решении таких задач: 1) прикладывание линейки к данной точке;

2) помещение ножки циркуля в данной точке; 3) проведение прямой и 4) описание окружности. (Для идеализированного решателя, обладающего «абстрактным циркулем» и «абстрактной линейкой», эти операции являются эффективными, а для человека, владеющего техникой черчения, – квазиэффективными).

Число операций всех этих видов, которые осуществляются при решении данной задачи, служит **мерой ее сложности**. Так, например, для задачи проведения прямой через две точки эта мера равна 3 (линейка прикладывается к двум точкам и проводится одна прямая).

Описанным методом может быть измерена как нормативная, так и реальная сложность задач на построение (с тем существенным уточнением, что она оценивается с точки зрения математики, а не психологии: сложность процесса нахождения способа решения никак не учитывается). За нормативную принимается минимально возможная сложность, устанавливаемая в соответствии с теорией геометрических построений.

Во втором примере оценивается реальная сложность решаемой человеком мыслительной задачи. Этот пример взят из работы О. К. Тихомирова и В. А. Терехова, регистрировавших осозательную активность слепых шахматистов. Один из показателей, который был использован исследователями, – общее число фиксаций полей шахматной доски («вызовов информации») перед принятием окончательного решения о выборе хода. Этот показатель характеризует реальную сложность задачи нахождения хода. Оценить описанным методом ее нормативную сложность, разумеется, невозможно.

В ряде случаев оказывается полезна относительная алгоритмическая мера реальной сложности задач. Такой мерой является, например, предложенный А. Т. Роговым показатель «развернутости выполненного действия», представляющий собой отношение количества «элементарных операций» в реально выполняемом действии к их количеству в том же действии, если оно «максимально развернуто».

Отмечая широкую сферу применимости алгоритмического подхода к оценке сложности задач, следует обратить внимание и на те затруднения и ограничения, с которыми сопряжено его использование.

Во-первых, для очень многих задач, особенно творческих, не удается описать даже фактически реализуемых алгоритмических или квазиалгоритмических способов их решения.

Во-вторых, выделение операций, из которых строятся такие способы, часто связано со значительными затруднениями. Адекватность набора операций, предлагаемого для использования в

целях оценки сложности задач на основе алгоритмического подхода, требует экспериментальной проверки: необходимо убедиться в том, что эти операции действительно квазиэффективны для соответствующего контингента субъектов.

В-третьих, отдельные виды операций, выделенные в качестве квазиэффективных, могут существенно различаться между собой по трудности. В этом случае оценка сложности задачи по количеству таких операций в способе ее решения оказывается неадекватной. Н. М. Розенберг приводит в этой связи такой пример: «Алгоритм поиска неисправности в телевизоре, состоящий, скажем, из 10 операций, нередко оказывается рациональнее алгоритма из 5–7 шагов, если в последнем случае используется более сложная измерительная аппаратура, менее доступны точки контроля и в конечном итоге требуется большая величина среднего времени поиска». Отдельные операции могут значительно отличаться друг от друга не только в количественном, но и в качественном отношении (например, при решении многих математических задач – операции по нахождению способа решения и вычислительные операции).

Наконец, нельзя забывать, что **процесс решения задачи – это не простая последовательность операций, а их система**. При оценке сложности только по количеству операций существенные особенности этой системы могут остаться неучтенными.

Кратко рассмотрим некоторые пути преодоления (или обхода) указанных трудностей.

Для уменьшения отрицательного влияния различий между видами операций на адекватность алгоритмической меры сложности можно воспользоваться приемом, в соответствии с которым каждому виду операций приписывается так называемый *«коэффициент сложности»*, пропорциональный среднему времени выполнения операции этого вида. При этом сложность задачи оценивается как сумма коэффициентов сложности последовательно выполняемых операций.

Подобный подход нашел применение для оценки сложности вычислительных задач. Как установили Н. М. Кандарацкова и Г. В. Суходольский, процесс выполнения людьми арифметических действий можно представить как последовательность элементарных (квазиэффективных, в нашей терминологии) вычислительных операций. В качестве таковых авторы выделили операции сложения, вычитания, умножения и деления в пределах одного десятичного разряда; перехода из младшего в старший разряд (при сложении) и из старшего в младший (при вычитании); выбора цифр частного (при делении). При этом операции перехода из разряда в разряд и выбора

цифр частного имеют ту особенность, что при письменных вычислениях не заканчиваются записью результата. Средняя вероятность безотказного выполнения элементарной операции составила 0,988. Были определены статистические оценки затрат времени на элементарные операции. Оказалось, что эти затраты «определяются не спецификой действия, а количеством элементарных вычислительных операций. Затраты времени на одну такую вычислительную операцию без записи цифры результата составляют в среднем 0,8 сек, а с записью цифры—1,1 сек...». Ясно, что эти значения могут быть использованы в качестве упомянутых выше коэффициентов сложности.

Возможности алгоритмического подхода к оценке сложности задач могут быть расширены также путем использования иных характеристик алгоритмических (или квазиалгоритмических) способов решения задач, помимо числа операций. Подобные характеристики могут часто более адекватно отразить существенные черты способа решения, рассматриваемого в качестве системы. Мы имеем в виду, прежде всего, характеристики графов, изображающих способы решения.

Так, В. Н. Пушкин провел сравнительный анализ решения задач игры «5» здоровыми людьми и больными с локальными поражениями коры головного мозга. Обнаружилась большая разница между ними по количеству циклов, т. е. замкнутых контуров в графах процессов решения задач (вершинами графов служили ситуации игры «5», а дугами – ходы этой игры).

Приведем пример использования графов иного рода. Мы имеем в виду так называемые структурные формулы учебного материала и учебных задач, разработанные А. М. Сохором. Они представляют собой графы, вершинами которых служат «логические элементы» рассуждений, необходимых для усвоения материала или для решения представленной в явном виде учебной задачи, а дугами – операции перехода от одного такого элемента к другому.

С нашей точки зрения, структурные формулы А. М. Сохора – это графы нормативных (а не реальных, как в исследовании В. Н. Пушкина) процессов решения задач, требования которых состоят то ли в усвоении учащимся некоторого учебного материала, то ли в нахождении им значения некоторой неизвестной величины. По данным А. М. Сохора, доступность учебного материала оказалась тем меньше и трудность задач тем больше, чем больше были число замкнутых контуров в графе и среднее число дуг, связывающих его вершины.

Следует, правда, учесть, что операции перехода от одного «логического элемента» к другому, соответствующие дугам графов

Сохора, не являются, вообще говоря, квазиэффективными. Поэтому описанный способ оценки сложности учебного материала и учебных задач выходит за рамки алгоритмического подхода. Можно сказать, что этот способ охватывается *операционным подходом*, представляющим собой обобщение алгоритмического.

Такой подход был применен также И. Г. Пудаловым, стремившимся измерить «дидактический объем учебного материала». Здесь на основе построения графов подлежащего усвоению материала подсчитывалась «мера учебного материала», пропорциональная количеству входящих в него «учебных элементов», причем коэффициент пропорциональности определялся требуемым уровнем усвоения заданного содержания (по В. П. Беспалько). С учетом найденного ранее времени, затрачиваемого на единицу рассматриваемого объема, «теоретически вычислялось время на овладение заданным учебным материалом... Полученное теоретически время сравнивалось с фактически затраченным временем на обучение по найденной граф-стратегии». По данным И. Г. Пудалова, расхождение, полученное при этом на различном математическом материале, не превышало 8 – 10%.

1.6.4. Энтропийный подход к оценке сложности задач

Наряду с алгоритмическим весьма распространен *энтропийный* (статистико-информационный) *подход* к оценке сложности задач. В соответствии с ним реальная сложность задачи оценивается по величине неопределенности, устраняемой в реальном (или возможном) успешном процессе решения задачи, а нормативная сложность – по величине неопределенности, которая должна устраняться, если решение задачи осуществляется в соответствии с некоторой нормой (в том числе замыслом экспериментатора, учителя и т. п.). **Сложность задачи χ , т. е. устраняемая неопределенность, трактуется при этом как некоторое количество информации (в смысле статистической теории информации К. Шеннона).** Конкретнее говоря, принимается, что

$$\chi = H_1 - H_2,$$

где H_1 и H_2 – значения энтропии некоторой случайной величины, характеризующей предмет задачи; значение H_1 относится к исходному состоянию этого предмета, а значение H_2 – к требуемому.

В простейшем случае, когда устранение неопределенности, обеспечивающее решение задачи, достигается путем выбора одного из n несовместных событий, энтропия H_2 равна нулю и

$$\chi = H_1 = -\sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$$

где P_i – вероятность i -го события.

Поскольку энтропийный подход предусматривает оценку сложности задачи по величине устраняемой неопределенности, наиболее естественно применять его при исследовании познавательных задач. Напомним, что предметами последних являются модели, имеющиеся в решателе, и именно их должны характеризовать величины H_1 и H_2 . Если решателем является человек, то вероятности, фигурирующие в используемых формулах статистической теории информации, – это не объективные, а субъективные вероятности. При этом под *субъективной вероятностью* $P_S(A)$ некоторого события A для субъекта S понимается оценка этим субъектом объективной вероятности $P(A)$ указанного события, осуществляемая им осознанно или неосознанно и находящая проявление в его поведении.

Рассмотрим простой пример.

В урне находятся красные и зеленые шары, причем красные составляют $2/3$, а зеленые – $1/3$ общего количества. Испытуемому предъявляют сигнал, вынимая из урны один шар; в зависимости от цвета шара испытуемый должен реагировать тем или иным образом. Перед предъявлением следующего сигнала шар возвращают в урну. Чему равна в данном случае энтропия, характеризующая среднюю сложность задачи реагирования на появление шара?

Подставив в приведенную выше формулу указанные значения объективных вероятностей, получаем:

$$H_1 = -\frac{2}{3} \log_2 \frac{2}{3} - \frac{1}{3} \log_2 \frac{1}{3} = 0,92 \text{ бит.}$$

Но эта величина характеризует сложность задачи только в том случае, если испытуемый научился, допустим, в результате долгого опыта вероятностям появления сигналов. Если же такое научение не имело места и испытуемому известно только, что в урне есть красные и зеленые шары, то появление красного шара и появление зеленого шара являются для него равновероятными событиями, так что адекватной оценкой средней сложности задачи реагирования на появление шара будет энтропия, равная

$$-\frac{1}{2}\log_2 \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\log_2 \frac{1}{2} = 1,00 \text{ бит.}$$

В случае частичного научения рассматриваемая средняя сложность лежит в пределах от 0,92 до 1,00 бит.

При использовании энтропийного подхода наряду с оценкой первоначальной сложности задачи обычно выясняется и то, как уменьшается эта сложность по ходу решения. Таким образом, открывается возможность сопоставления различных стратегий решения задач на основе сравнения того, насколько в среднем уменьшается неопределенность (энтропия) ситуации в результате каждой операции, осуществляемой субъектом в соответствии с рассматриваемой стратегией.

В работах по инженерной психологии рассматривается так называемая информационная напряженность оператора, измеряемая количеством информации (в смысле Шеннона), которое субъект (оператор) должен переработать или фактически перерабатывает за определенный промежуток времени (или за единицу времени), решая стоящую перед ним задачу. Таким образом, для информационной напряженности, как и для сложности задач, могут быть указаны нормативные и реальные значения.

Существуют различные мнения по вопросу о широте класса задач, для которых энтропийная мера сложности является адекватной. По всей видимости, она подходит, например, для оценки сложности восприятия таблиц, составленных из элементарных геометрических фигур (такую оценку проводит М. Я. Антоновский, изучая пути обеспечения наглядности в учебном процессе). С достаточной уверенностью можно говорить об адекватности энтропийной меры по отношению к задачам выбора из нескольких альтернатив (в частности, к **задачам распознавания**) или **задачам, которые естественно сводятся к задачам выбора**. Но что понимать под «естественной сводимостью»? Скажем, мыслительные задачи, которые можно описать с помощью **лабиринтной модели**, в принципе могут быть представлены как задачи выбора. Однако это представление, допустимое с математической точки зрения и реализуемое в ряде систем искусственного интеллекта, большей частью не соответствует закономерностям решения таких задач человеком.

Как отмечалось выше, применение энтропийной меры для оценки сложности познавательных задач требует учета субъективных вероятностей. Только при таком уточнении эта мера может быть использована для оценки сложности задач, связанных с восприятием и пониманием текстов. (Это касается и мнемических задач. Как писал П.

Б. Невельский, «преимущество так называемой смысловой памяти над механической часто объяснялось пониманием, которое выступало как конечная причина эффективности запоминания. **Информационный подход к памяти позволяет увидеть здесь уменьшение неопределенности и количества информации в запоминаемом материале**»). Однако и в таком случае указанная мера характеризует сложность задач односторонне, отражая в основном лишь степень новизны для субъекта использованного в задаче материала.

Учет субъективных вероятностей при оценке сложности задач восприятия текста достигается с помощью **метода последовательного угадывания знаков**. Согласно К. Вельтнеру, он позволяет получить, по крайней мере, верхнюю и нижнюю оценки указанной сложности (так называемой **субъективной информации текста**). К. Вельтнер установил зависимость «субъективной информации на букву» как от характеристик текстов, так и от характеристик субъектов, работающих с этими текстами. Было обнаружено, в частности, что «для групп пятого, седьмого и восьмого годов обучения субъективная информация текстов снижается с каждым годом обучения...». Аналогичные результаты были получены в экспериментах Н. М. Розенберга, направленных на выяснение того, как школьники владеют родным и родственным ему (вторым) языком и как улучшается это владение в обучении.

При теоретическом анализе и практическом применении статистико-информационного подхода к оценке сложности задач, связанных с восприятием, пониманием и запоминанием текстов, оказывается весьма полезным **понятие «сверхзнака» («суперзнака»), т. е. совокупности элементарных знаков, воспринимаемых субъектом как единое целое. В роли «сверхзнаков» могут выступать слоги, слова и т. п.**

Впрочем, аналогичные соображения должны учитываться и при использовании операционного подхода. Р. Х. Зарипов справедливо обращает внимание на то, что элементы, с которыми оперирует человек (в нашей терминологии – операнды квазиэффективных для субъекта операций), обычно значительно крупнее, чем простейшие элементы объекта его действий. В частности, исследуя процесс сочинения мелодии, следует рассматривать в качестве операнда **интонацию – «наименьшую часть мелодии, имеющую выразительное значение», а отнюдь не отдельную ноту.**

1.6.5. Соотношения между различными количественными характеристиками задач

Подводя итоги краткому обзору подходов к оценке трудности и сложности задач, обратим внимание на следующее. Характеризуя разные меры сложности, мы, как и авторы, которых мы цитировали, говорили о большей или меньшей адекватности этих мер по отношению к задачам, имеющим разную психологическую природу. Но что является здесь критерием адекватности? По всей видимости, им может служить достаточно **высокая степень соответствия (корреляции) между проверяемой мерой сложности и избранной уже мерой трудности задачи.** (Здесь уместно внести такое уточнение. Со сложностью задач обычно находится в соответствии их интегральная трудность. В качестве коррелята дифференциальной трудности может выступать «информационная напряженность» (см. 1.6.4.) Наличие подобной корреляции позволяет путем оценки сложности конкретных задач того или иного типа прогнозировать их трудность, обходясь тем самым без непосредственного измерения последней, которое, как правило, значительно более трудоемко.

Указанный критерий адекватности мер сложности фактически используется во многих работах, связанных с их отысканием. Так, В. Э. Мильман обосновывает адекватность осуществленных на основе алгоритмического подхода оценок сложности перцептивных действий высокой корреляцией между этими оценками и затратами времени на выполнение действий. А. М. Сохор ищет объективную количественную характеристику системы внутренних связей учебного материала, которая обнаружила бы наибольшую корреляцию с доступностью этого материала для учащихся, определенной на основе различных показателей трудности – как субъективных (в гносеологическом смысле), так и объективных. Подобными приемами пользуются и другие авторы. В 1.6.3 фактически шла речь об использовании рассматриваемого критерия в работах.

Классическим примером соответствия между трудностью и сложностью задач может служить установленная в ряде экспериментов линейная зависимость среднего времени реакции выбора в сериях безошибочных реакций (это время является мерой трудности) от энтропии стимульной ситуации, т. е. от меры сложности. Существенно при этом, что такая зависимость имеет место «для высокотренированных испытуемых, которым известно все множество возможных параметров сигнала». В результате тренировки (при которой, уточним мы, субъективные вероятности становятся равны

объективным) «время опознания начинает соответствовать реальной величине количества информации источника».

Для прогнозирования трудности задач, решаемых в процессе достаточно сложной деятельности, часто приходится учитывать систему показателей сложности этих задач («факторов сложности» в другой терминологии). Каждый из них отражает определенный аспект структуры нормативного или реального процесса решения задачи. Так, И. Я. Лернер на основе анализа решения познавательных задач школьниками пришел к выводу, что «сложность задач, сказывающаяся на трудности их решения, зависит от **трех факторов**:

1) от состава данных условий, подлежащих учету и взаимному соотношению для успешного решения. Чем больше таких данных, тем сложнее задача;

2) от расстояния между вопросом задачи и ответом на нее, т. е. от числа промежуточных суждений, логических звеньев, которые необходимо пройти, чтобы найти решение;

3) от состава решения, т. е. от числа рядоположных выводов, которые можно и надо сделать в результате решения задачи». (Заметим, что эти факторы в своей совокупности определяют количество операций, входящих в способ решения задачи.)

Л. Г. Соколова выявила путем интервью, анкетирования, анализа допускаемых учащимися ошибок **«шесть компонентов сложности учебной физической задачи»**. В их числе:

- неявная заданность некоторых элементов, характеризующих процесс или явление; проявление в физической ситуации нескольких закономерностей;

- «комплексность» задачи, т. е. ее принадлежность одновременно к нескольким типам учебных задач;

- «комбинированный» характер задачи, т. е. возможность ее расчленения «на элементарные, связанные с одним физическим телом или с одним его состоянием и т. п.»;

- использование единиц измерения, не входящих в одну систему;

- необходимость выполнения большого количества математических операций.

Желательно, конечно, на основе отдельных показателей сложности задач определенного типа получать ее единую числовую оценку. Л. Г. Соколова предприняла попытку в этом направлении. **«Степень сложности» учебной физической задачи она подсчитывала как сумму уровней выраженности каждого из присутствующих в задаче компонентов сложности**. Например, если задача относится одновременно к двум типам, то для

соответствующего компонента сложности упомянутый уровень $U=1$; если к трем, то $U=2$ и т. д. Если же соответствующий компонент сложности вообще не представлен в задаче, то $U=0$.

Использование подобных приемов (если с их помощью удастся прогнозировать трудность задач) представляет собой шаг вперед по сравнению с интуитивной оценкой сложности задач. Вместе с тем успешность такого прогнозирования возрастает при обращении к методам математической статистики. Последнее имеет место, в частности, при прогнозировании трудности задач понимания печатного текста с помощью формул сложности текста, или, как их еще называют, формул читабельности. Такая формула «представляет собой уравнение регрессии, в левой части которого стоит усредненная оценка трудности текста... а в правой части – алгебраическая сумма количественных оценок языковых параметров текста, наиболее сильно прогнозирующих его трудность, с соответствующими коэффициентами регрессии».

Я. А. Микк, проанализировав 124 признака текста, выделил из их числа «компоненты сложности текста» и разработал «формулы сложности». В каждую такую формулу включаются компоненты сложности, «которые имеют высокую корреляцию с трудностью текста и которые можно установить с небольшой затратой труда, причем надежно». **Наилучшей оказалась формула, в которую вошли два компонента сложности: «средняя длина самостоятельных предложений в печатных знаках» и «средняя абстрактность повторяющихся в тексте имен существительных».**

Подобные исследования имеют важное практическое значение. Так, с помощью одной из разработанных Я. А. Микком формул были вычислены оценки сложности учебников одной из общеобразовательных школ и сопоставлены с процентом неуспевающих учащихся по соответствующим предметам. **Связь между этими показателями оказалась весьма тесной, что дает основание использовать предложенные формулы в процессе предварительной оценки учебников до их экспериментальной проверки в школе.**

Исследование соотношений между показателями трудности и сложности задач помогает выяснять структуру процессов их решения. В самом деле, значение сложности задачи (под которой мы понимаем, как было сказано выше, сложность реального или нормативного процесса ее решения) зависит не только от принятой меры сложности, но и от гипотезы о структуре этого процесса. Пусть имеется несколько таких гипотез, из которых нужно выбрать наиболее адекватную. Тогда можно воспользоваться таким методом: для

некоторого ряда реализаций рассматриваемого процесса находят соответствующий ряд значений трудности и несколько рядов значений реальной сложности, каждый из которых соответствует какой-либо гипотезе о структуре процесса («реальная сложность» – это термин, смысл которого разъяснен в 1.6.2 и который мы употребляем независимо от того, насколько близка к истине используемая гипотеза о структуре процесса решения задачи). При прочих равных условиях наиболее правдоподобной является та гипотеза, для которой ряд значений сложности дает наиболее высокую корреляцию с рядом значений трудности.

Примером использования этого метода может служить исследование П. Саппеса и Г. Гроена, выяснявших структуру действия сложения однозначных чисел, выполняемого школьниками 1 класса. Детям предлагалась последовательность из 21 задачи на сложение. За меру трудности задач была принята продолжительность процесса успешного решения (процент ошибок был мал, и процессы, завершившиеся ошибочными ответами, были исключены из рассмотрения). Авторы предложили пять гипотетических моделей, отражавших возможную структуру процесса, и в соответствии с каждой из них было подсчитано (на основе алгоритмического подхода) значение сложности каждой задачи. Полученные пять рядов значений сложности были с помощью регрессионного анализа сопоставлены с рядом средних (для 30 учащихся) значений продолжительности процессов успешного решения. Посредством такой процедуры была выделена модель, обеспечивающая наилучшее соответствие между рядами значений сложности и трудности (согласно этой модели, учащийся берет большее из слагаемых и прибавляет к нему последовательно столько единиц, сколько их в меньшем слагаемом). Структура процесса решения, описываемая этой моделью, является наиболее вероятной.

В. И. Загвязинский предложил оценивать **степень проблемности (нерутинности, в нашей терминологии) учебных задач «отношением количества нестереотипных, нешаблонных шагов, необходимых для нахождения ответа, к общему количеству шагов»**. Таким образом, **показатель нерутинности находится здесь как отношение двух показателей сложности задачи**.

Заслуживает внимания **анализ соотношения уровней трудности, сложности и нерутинности учебных задач**. Поскольку уровень трудности задачи зависит и от уровня ее сложности, и от уровня ее нерутинности и поскольку трудность учебных задач не должна быть слишком высокой, повышение нерутинности таких задач требует, большей частью, ограничения их сложности. Это

обстоятельство необходимо учитывать при установлении соотношения между использованием проблемных и «сообщающих» методов обучения. Данное рассуждение служит примером того, что дифференциация количественных характеристик задач, раскрытие их взаимосвязи полезны уже на концептуальном уровне, т. е. без установления числовых значений этих характеристик.

В свете сказанного понятно, что «чем выше уровень сформированности у учащихся вычислительных алгоритмов, тем лучше они смогут решать задачи, в том числе и творческого характера». Действительно, повышение уровня сформированности алгоритмов у учащихся можно интерпретировать как снижение реальной сложности, которой обладают для этих учащихся задачи, решаемые с использованием упомянутых алгоритмов.

1.6.6. О возможностях использования качественных и количественных характеристик задач для оценки учебных достижений и умственного развития учащихся

Учет рассмотренных в разделах 1.4 и 1.5 качественных характеристик задач, а также их количественных характеристик, описанных в настоящем разделе, открывает возможности для более разностороннего и адекватного оценивания познавательных достижений субъектов, а также их умственного развития.

В частности, об уровне усвоения учащимися тех или иных знаний можно судить по диапазону задач соответствующего содержания: а) решаемых без доступа к внешней информации (см. 1. 5.1); б) решаемых при условии, что их формулировки содержат открытые вопросы (см. 1.5.4); в) являющихся для этих учащихся четкими или квазичеткими (см. 1.4.3).

Об общем уровне усвоения учащимися средств решения задач определенного содержания можно судить: а) по диапазону задач этого содержания, являющихся для них разрешимыми (см. 1.4.2); б) по уровню трудности (см. 1.6.1), которым обладают для них задачи этого содержания, сформулированные определенным образом.

Об уровне усвоения учащимися конкретных средств и способов решения задач можно судить: а) по диапазону задач соответствующего содержания, являющихся для них квазирутинными (см. 1.4.2); б) по уровню сложности (см. 1.6.2), которым обладают для них задачи этого содержания, сформулированные определенным образом.

Об умственном развитии учащихся можно судить:

а) по расширению диапазона задач различного содержания, являющихся для них: (1) разрешимыми, (2) четкими или квазичеткими; (3) квазирутинными;

б) по повышению нормативной сложности (см. 1.6.2) разрешимых для них задач различного содержания (при этом имеется в виду, что система элементов, используемая при подсчете нормативной сложности, остается фиксированной, т. е. не учитываются изменения в системе элементов, которой фактически пользуется субъект). Варьируя нормативную сложность учебных задач, можно добиться их одинаковой трудности для учащихся, находящихся на разном уровне развития;

в) по понижению реальной сложности (см. 1.6.2), которой обладают для этих учащихся определенным образом сформулированные задачи различного содержания. Такое понижение обусловлено использованием более рациональных способов действий и укрупнением элементов, из которых строятся эти способы. Рассматриваемый аспект развития находится в диалектическом единстве с аспектом «б», поскольку, как писал Г. С. Костюк, «усложнение форм психической деятельности включает и процессы упрощения, свертывания, стереотипизации. Свернутые, стереотипизированные способы внутренних и внешних действий входят в качестве компонентов в новые структуры, являясь одним из условий их экономного функционирования»;

г) по расширению возможностей переноса усваиваемых средств решения задачи, т. е. по увеличению содержательного разнообразия задач, для которых уровень трудности, сложности или уровень нерутинности (см. 1.6.1 – 1.6.2) уменьшается при усвоении средств решения задач определенного содержания;

д) по повышению способности учащихся к самостоятельной постановке познавательных задач.

В целом материал, изложенный в данном разделе, показывает, что выделение и оценка количественных характеристик задач – это сложная проблема, разработка которой наталкивается на ряд препятствий, в том числе принципиального характера. Вместе с тем систематизация и применение тех результатов, которые уже достигнуты в данной области, способны принести реальную пользу в исследовании и проектировании деятельности, и прежде всего научной. Разумеется, в каждом конкретном случае такое применение должно быть подчинено качественному анализу рассматриваемых задач, равно как и процессов их постановки, принятия и решения.

1.7. Задачи в процессе обучения

Настоящий раздел посвящен применению категории задачи к исследованию и проектированию учения и обучения. Собственно говоря, такого применения мы неоднократно касались и в предшествующих разделах, иллюстрируя и интерпретируя результаты, получаемые в ходе разработки теории задач в общесистемном и общепсихологическом плане. Теперь предполагается дополнить эти результаты рассмотрением задач с позиций дидактики и педагогической психологии.

1.7.1. Основные типы задач, различающиеся по функциям в учебно-воспитательном процессе

Обратимся прежде всего к понятию *учебной деятельности*. Не обсуждая здесь его различных трактовок, отметим, что мы считаем **учебной** всякую **деятельность**, **основная функция которой состоит в овладении средствами других деятельностей**. Термин «учение» мы употребляем как синоним термина «учебная деятельность», используемого в рассматриваемом широком смысле. Вместе с тем для обозначения приобретения и усовершенствования знаний, умений и навыков, достигаемого в процессе любой деятельности, мы считаем более рациональным применять термин «**научение**» (он, с нашей точки зрения, лучше всего соответствует английскому термину «**learning**»). **Научение субъекта решению задач некоторого класса можно определить как процесс осуществления субъектом операций, в результате которых задачи этого класса становятся для него менее трудными**. Вернемся к характеристике учебной деятельности. Исходя из приведенного в предыдущем абзаце ее определения, при описании учебной деятельности можно выделить две **категории действий и задач**. К **первой категории** относятся действия, составляющие учебную деятельность (*учебные действия*), и задачи, на решение которых направлены (или должны быть направлены) эти действия (*учебные задачи*). **Вторую категорию** образуют действия, которые субъект должен научиться осуществлять (*критериальные действия*), и задачи, которые он должен научиться решать (*критериальные задачи*). В процессе учения субъект овладевает средствами решения критериальных задач (в том числе моделями способов их решения, см. 1.3.3). Основанием для применения термина «критериальная задача» служит то, что успешное решение таких задач выступает в качестве

критерия достижения целей обучения (разумеется, при условии, что последние адекватно представлены в системе критериальных задач). Заслуживает положительной оценки то, что в программы по разным предметам вводятся «требования к умениям учащихся», содержащие описания критериальных задач.

Приведем характерный пример. В результате изучения начального курса химии учащиеся должны, в частности, научиться: «на основании знаний периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева и строения атомов составлять формулы важнейших соединений, определять вид химической связи и прогнозировать характерные общие свойства веществ...»; «на основе знания валентности элементов составлять формулы соединений, состоящих из двух элементов, формулы оснований и солей по известной валентности металлов и кислотных остатков...».

Работа по составлению таких описаний и их включению в программы соответствующих курсов активизировалась под воздействием совершенствования образования в общеобразовательных и профессиональных школах: «По каждому предмету и классу определить оптимальный объем умений и навыков, обязательных для овладения учащимися». В частности, разработаны «Обязательные результаты обучения по математике» в виде набора конкретных задач, являющихся (в нашей терминологии) образцами, частными случаями критериальных задач. (Критериальные задачи как таковые в принципе всегда являются родовыми (см. 1.4.1): ведь обучаемые должны овладеть средствами, обеспечивающими (или хотя бы облегчающими) решение не какой-либо конкретной задачи, а некоторого класса задач). Этот документ встретил в основном положительные отзывы со стороны учителей математики и методистов. Вместе с тем представляют интерес и некоторые критические отклики. Так, Б. П. Эрдниев обратил внимание на то, что для IV класса «Обязательные результаты...» представляют собой «набор самых элементарных, изолированных друг от друга заданий типа следующих: 1) прочитай число (такое-то); 2) запиши число (такое-то); 3) выполни (сложение, умножение и т. п.); 4) сократи дробь; и т. п.». **Между тем успешное выполнение такого рода заданий не свидетельствует еще о сознательном усвоении соответствующих способов действий.**

В общем случае, для того чтобы описание требований к формируемым учебным приобретениям было достаточно полным и корректным, следует, во-первых, возможно более полно отразить принятые цели обучения в системе критериальных задач; во-вторых, охарактеризовать не только критериальные задачи как таковые, но также и те средства их решения, которыми должны

овладеть обучаемые, равно как и требуемый уровень владения такими средствами.

Возвращаясь к отзывам учителей на «Обязательные результаты обучения по математике», отметим содержащееся в них предложение (вполне резонное, на наш взгляд) о «разработке результатов обучения, отвечающих более высокому уровню подготовки учащихся, и создании на этой основе единых... критериев оценки».

Можно, однако, не согласиться (во всяком случае, если широко трактовать понятие задачи) с тем, что возможность представления «обязательных результатов обучения» посредством системы задач отражает «специфику школьного курса математики». Скорее, следует признать, что применительно к курсу математики задачи, пригодные для этой цели, лучше разработаны. **Но разрабатывать их следует применительно ко всем учебным предметам.**

Если в рамках общего образования цели обучения получают конкретизацию в системе критериальных задач, то профессиональное образование нуждается также в обратном механизме: в соответствии с ним выделенная путем анализа нормативной деятельности специалиста система критериальных задач (в терминологии Н. Ф. Талызиной – «основная система задач, с которыми встретится будущий специалист») служит основанием для разработки целей обучения.

«Корректное выделение и анализ умений, диктуемых этими задачами, – продолжает Н. Ф. Талызина, – позволяет однозначно определить объем и содержание знаний, входящих в эти умения». Таким образом, представление основных целей обучения через посредство системы критериальных задач не означает недооценки знаний, которые должны стать достоянием обучаемых. Выше было сказано о важности описания средств решения критериальных задач, а знания занимают в системе таких средств ключевое место. **Можно рассуждать и так: когда мы говорим, что обучаемые должны научиться решать критериальные задачи, это значит, что они должны овладеть способами их решения, иначе говоря, соответствующими способами действия. В таких способах важнейшая роль принадлежит ориентировке (см. 1.3.5); в терминах П. Я. Гальперина и Н. Ф. Талызиной – ориентировочной основе действий, т. е., можно сказать, знаниям *в их действенной функции*.**

Последнее уточнение очень важно. Как писал академик А. Н. Несмеянов, «главное, что должно дать образование и о чем часто забывают, – **это не «багаж» знаний, а умение владеть этим «багажом».** Это и есть **главная цель** любого, в том числе и высшего, **образования**».

Представляет интерес группировка критериальных задач в соответствии с основными аспектами деятельности, которой должны овладеть обучаемые. Мы воспользовались здесь идеей И. Я. Лернера, подчеркнувшего необходимость ориентироваться при построении систем учебных задач на так **называемые аспектные проблемы**, **«сквозные для всех или части явлений, изучаемых данной наукой и соответственно учебным предметом**. Так, для общественных дисциплин аспектными проблемами являются выяснение тенденций развития, определение классовой природы явления, выявление причинно-следственных связей и т. д.»).

Вообще, при разработке систем учебных задач их следует соотносить с критериальными, но вместе с тем надо помнить о принципиальном различии в функциях этих типов задач. В связи с предложениями о внесении дополнений в наборы задач, включенных в «Обязательные результаты обучения по математике» (предлагалось, например, добавить задачи, «подводящие к усвоению понятий»), справедливо указывается: «Несомненно, в процессе обучения такие задачи будут решаться, но они не относятся к итоговым по теме результатам обучения»; цель «Обязательных результатов» – «обозначить тот итоговый уровень усвоения темы, которого должен достичь каждый учащийся. При обучении необходим достаточно широкий арсенал средств для организации усвоения материала учащимися...»).

Вообще, главная цель применения учебных задач состоит в том, чтобы обучаемые овладели теми или иными средствами решения критериальных задач; в отличие от этого **главная цель, преследуемая решением критериальных задач в условиях трудовой (производственной или научно-познавательной) деятельности, состоит в получении некоторого внешнего, отчуждаемого от субъекта результата**.

Все это не исключает того, что в некоторых ситуациях те или иные задачи (и соответственно направленные на их решение действия) одновременно являются и критериальными, и учебными. (Учитывая, что критериальные задачи всегда являются родовыми, указанное совпадение строго говоря, возможно при условии, что рассматриваются родовые учебные задачи. Что же касается индивидуальных учебных задач, то они могут совпадать с частными видами критериальных.) Выделим **два типа таких ситуаций**.

Первый тип имеет место, когда задача, первоначально фигурирующая в качестве критериальной, непосредственно используется как учебная задача, предназначенная для обучения решению этой критериальной задачи (например, чтобы научиться

забивать гвозди, упражняются именно в забивании гвоздей). В ситуациях **второго типа** сама критериальная задача является учебной (субъект овладевает средствами учебной деятельности, **«учится учиться»**). Эта цель, носящая вроде бы вспомогательный характер, приобретает в условиях научно-технической революции и в особенности в связи с формированием системы непрерывного образования фундаментальное значение в системе критериальных задач практически по всем предметам. По словам К. Роджерса, современный человек «живет в среде, которая непрерывно изменяется», и потому ныне **«образованный человек – только тот, кто научился учиться»**. Отсюда возрастающее внимание к формированию учебных умений.

Однако даже в этих случаях, когда вроде бы одна и та же задача является и критериальной, и учебной, различать эти категории необходимо. В первом случае эффективность одних и тех же действий должна оцениваться по-разному в зависимости от того, выступают ли они в качестве критериальных или учебных: **эффективность критериальных – по количественным и качественным показателям выполненной работы, а эффективность учебных – по степени овладения рациональными способами действий**. Во втором случае рассматриваемая задача является критериальной в одной системе задач, а учебной – в другой.

Перейдем теперь от рассмотрения учения к характеристике *обучения*. Как известно, в дидактике обучение трактуют обычно как двусторонний процесс, охватывающий деятельность учащегося (учащихся) – учение и деятельность учителя – преподавание. С этой трактовкой согласуется **понимание обучения как функционирования специфической системы управления**.

При описании обучения оказывается необходимым помимо учебных и критериальных рассматривать еще **две категории задач**. Это, **во-первых, дидактические задачи, т. е. задачи управления учением**. В основном их решает учитель (вообще, любой обучающий). Вместе с тем осуществление тех или иных операций, входящих в способы их решения (в простейшем случае такая операция обеспечивает переход к чтению определенной страницы пособия, к продумыванию ответа на определенный вопрос), может быть передано техническому устройству или самому обучаемому. Обе эти возможности широко используются в программированном обучении и обучении с помощью компьютера.

Важную роль понятия дидактической задачи отмечает В. И. Загвязинский. «Основным противоречием учебного процесса, – пишет он, – является постоянно преодолеваемое в совместной работе ученика

и учителя и возобновляющееся несоответствие между воплощенным в деятельности ученика достигнутым уровнем знаний, умений, навыков, развития, отношения к учению (этот уровень отражается исходной стороной дидактической задачи) и требуемым, находящимся в ближайшей перспективе, закономерно вырастающим из достигнутого (он отражается перспективной стороной дидактической задачи)». Впрочем, **если говорить не об отдельной дидактической задаче, а о системе таких задач, то их решение должно быть направлено на достижение в конкретных условиях учебного процесса не только цели, «находящейся в ближайшей перспективе», но и некоторой иерархической системы целей.** На ее относительно более низких ступенях находятся цели, которые могут быть описаны достаточно четко и предусматривают формирование у обучаемых определенных средств решения критериальных задач, в том числе знаний, стратегий, императивных моделей способов действий и пр. Цели обучения, находящиеся на верхних ступенях иерархии (они предусматривают развитие способностей обучаемых, достижение воспитательных эффектов и т. п.), с гораздо большим трудом поддаются операциональному описанию, но, конечно, обязательно должны приниматься во внимание при постановке и решении дидактических задач.

Во-вторых, следует ввести в рассмотрение *проверочные задачи*, с помощью которых выясняется, в какой мере достигнуты цели обучения. **Проверочные задачи должны быть частными видами или моделями критериальных задач.** (Так, например, желательно, чтобы предлагаемое студенту технического вуза задание на дипломное проектирование моделировало проектные задания, которые он должен будет уметь выполнять в ходе последующей профессиональной деятельности.)

В связи с внедрением «Обязательных результатов обучения по математике» (см. выше) учителя обращают внимание на то, что «существующая система контроля (самостоятельные и контрольные работы, экзаменационные работы) недостаточно ориентирована на обязательные результаты обучения», и выдвигают предложения по усовершенствованию этой системы в соответствующем направлении.

Нередко одни и те же задачи выполняют функции и учебных, и проверочных. Как учебные, так и проверочные задачи (наряду с указаниями, относящимися к решению ряда таких задач, воздействиями, направленными на повышение мотивации учения, и т. п.) выступают в качестве средств решения дидактических задач.

Применение понятий об учебных и дидактических задачах проиллюстрируем на примере рассмотренных Е. И. Машбицем трех вариантов использования компьютера в учебном процессе.

1. Компьютер выступает как средство решения только учебных (но не дидактических) задач. Функции компьютера (используемого в качестве справочной системы, средства осуществления расчетов, моделирования и т. п.) здесь «мало чем отличаются от тех, которые он выполняет в рамках других видов деятельности – научной, производственной».

2. Компьютер является средством решения дидактических (но не учебных) задач. В этом случае он взаимодействует не с обучаемыми, а с педагогом, которому, например, «может выдавать рекомендации о целесообразности применения тех или иных обучающих воздействий по отношению к тем или иным обучаемым».

3. Компьютер применяется как средство решения и учебных, и дидактических задач. В данном случае, взаимодействуя с обучаемым, он при этом непосредственно осуществляет управление его учебной деятельностью с помощью соответствующей последовательности обучающих воздействий. «Разумеется, в определенные моменты инициатива может переходить к школьнику, ему предоставляется возможность задавать различные вопросы, относящиеся к решению той или иной учебной задачи». Однако вместо явного ответа на вопрос учащегося компьютер может, подобно учителю, «дать некоторое эвристическое указание, предложить решить вспомогательную задачу и т. д.».

Приведенный пример демонстрирует важность четкого различия используемых понятий (в частности, об учебных и дидактических задачах). Но не менее важно видеть взаимосвязь и взаимопереходы явлений, описываемых этими понятиями. Мы говорим: дидактическую задачу решает учитель (или моделирующий его деятельность компьютер). Однако при этом одна из особо значимых дидактических целей состоит в том, чтобы развивать рефлексию обучаемых, направленную на собственную учебную деятельность, и постепенно формировать умение самостоятельно управлять ею.

Обучение, пишут В. В. Краевский и И. Я. Лернер, «направлено в конечном счете на собственное отрицание, на снятие обучения в учении». Точнее, видимо, говорить о постепенном переходе от осуществляемого извне (учителями) обучения некоторого субъекта к его самообучению.

В настоящей работе мы сосредоточили внимание на дидактических применениях теории задач. Вместе с тем следует

заметить, что категория задачи представляет интерес и для разработки проблем воспитания (рассматриваемого то ли в относительно узком плане – как формирование системы ценностных ориентации и соответствующего ей поведения, то ли весьма широко – как формирование личности в целом).

Во-первых, социальная функция воспитания подрастающего поколения может быть описана как подготовка его представителей к решению многообразных задач, с которыми им придется столкнуться на протяжении их жизни.

Во-вторых, формирование и развитие личности осуществляется только в деятельности (широко трактуемой), т. е., иначе говоря, в процессе решения задач. (Этот тезис не противоречит положению о фундаментальной роли общения в воспитании, хотя бы потому, что общение может быть рассмотрено как специфический вид деятельности. К тому же, как отметил Г. С. Батищев, для развития личности очень важно ненавязчиво передавать воспитуемому *«задачу на поступок, задачу на внутреннюю работу души и духа, на внутренний выбор по собственной совести...* Но принятие задач на поступки может совершаться не иначе, как *внутри* глубинной общности, *внутри* взаимной сопричастности друг другу»). Стало быть, сущность процесса воспитания может быть описана как стимулирование решения воспитуемыми задач, способствующих развитию в нужном направлении личности каждого из них.

В-третьих, заслуживают исследования особенности задач, решаемых воспитателем, – особенности, определяющие требования к эвристическим средствам, которые должна предоставлять в распоряжение воспитателей педагогическая наука. **Нетрудно заметить, что три выделенных типа задач соответственно аналогичны критериальным, учебным и дидактическим задачам, рассмотренным выше применительно к теории обучения.**

Как и в случае обучения, различение типов задач, о которых идет речь в предыдущем абзаце, должно сочетаться с учетом взаимосвязей и взаимопереходов между ними. Такие взаимопереходы связаны, в частности, с отношением между воспитанием (осуществляемым извне) и самовоспитанием, которое должно формироваться под его воздействием. Это отношение аналогично тому (рассмотренному выше), которое должно иметь место между обучением и самообучением. (Выдвигаемым положениям созвучен тезис о необходимости «не на словах, а на деле признать ученика не только объектом, но и субъектом педагогической деятельности»).

Констатация отмеченных аналогий не ставит, разумеется, под сомнение специфику воспитания по сравнению с обучением. В то

время как системы учебных задач в своей подавляющей части строятся заранее, воспитание (в особенности нравственное) лишь частично осуществляется путем заранее запланированных мероприятий; важную роль в достижении целей воспитания играет оперативное регулирование разнообразной деятельности воспитуемых. Уроки честности в отличие от уроков физики «дает сама жизнь, они не могут иметь твердых организационных рамок, их гораздо труднее спроектировать, чем вторые». С этим связано и такое различие: обучаемому чаще всего полезно осознавать, что его обучают, но, как писал А. С. Макаренко, большей частью нежелательно, «чтобы каждая отдельная личность чувствовала себя объектом воспитания».

Понятие педагогической задачи (по отношению к которому понятия «дидактическая задача» и «воспитательная задача» являются видовыми) анализируется рядом исследователей. Как подчеркивал Г. С. Костюк, «специфика педагогических задач состоит в том, что они могут быть решены и решаются только посредством руководимой учителями активности учащихся, их деятельности». В процессе профессиональной подготовки учителей имеет место особый случай: здесь организуется решение обучаемыми «учебных педагогических задач». С этой целью осуществляется моделирование типичных педагогических ситуаций.

1.7.2. Особенности учебных задач

Понятие учебной задачи мы считаем необходимым проанализировать глубже. Это требуется, помимо прочего, потому, что в термин «учебная задача» разными исследователями вкладывается неодинаковое содержание.

В педагогике издавна принято понимать под учебной задачей специфический вид задания, даваемого учащимся, чаще всего такое задание, которое требует от них более или менее развернутых мыслительных действий (продуктивных или репродуктивных). Если, однако, руководствоваться основанным на идеях психологии деятельностью и принимаемым в этой работе задачным подходом, то понятие учебной задачи следует трактовать шире. **В соответствии с указанным подходом считается, что «учебная деятельность, как и любая иная, имеет заданную структуру, т. е. осуществляется как решение специфических для нее (учебных) задач... Существуют мыслительные, мнемические, перцептивные, имажинативные, коммуникативные и другие учебные задачи.** Такая точка зрения, естественно, не совпадает с распространенными классификациями видов учения, в которых решение задач (какое бы значение ему ни придавалось) рассматривается лишь как один из таких видов».

Обсудим вопрос о пределах применимости рассматриваемого подхода.

Трактовка учения как решения задач связывается обычно (и не без основания) с подчеркиванием активности учащихся. Как пишет Т. Томашевский, педагоги «отличают пассивное получение (приобретение) сообщений от активного и предлагают применять активные методы... Однако, – продолжает он, – мы не можем проходить мимо и противоположных фактов. На наших глазах применяются – тоже во все большем объеме – методы управления поведением людей с помощью пассивной рецепции... Радиослушатели и телезрители держат себя, скорее, пассивно, ограничиваясь только восприятием слышимого или видимого, однако воздействию передаваемых таким образом сообщений придается все большее значение».

Нельзя не признать, что «пассивное восприятие» в этом смысле имеет место и в процессах учения, причем нередко оно оказывается вполне эффективным с точки зрения достижения поставленных целей обучения (разумеется, не любых, а целей определенного характера, таких, например, как формирование у учащихся интереса к изучаемой теме или достижение первичного понимания ими нового учебного материала).

Сосредоточим внимание на ученике, с интересом слушающем увлекательный рассказ учителя. Предположим, учитель на этот раз не вводит в свой рассказ элементов беседы, не задает классу вопросов, а просто рассказывает, но делает это мастерски. Ученик, увлеченно слушающий рассказ учителя, с житейской (и обычной педагогической) точки зрения пассивен и уж во всяком случае не решает никакой задачи. Но можно ли считать этого ученика пассивным, анализируя его поведение в психологическом плане? И не допускает ли Т. Томашевский в приведенной цитате известного отхода от своего же совершенно правильного положения о том, что психические явления представляют собой «действия человека, который является их субъектом, стремящимся к определенным целям, а не только предметом, пассивно реагирующим на внешние воздействия»? Наконец, разве не ясно, что успешность обучения, в том **числе его развивающие эффекты, зависит в первую очередь не от внешней активности учащихся, а от активизации их психической деятельности?** В учебном процессе должны находить место различные способы такой активизации. Обсуждая проблемы литературного образования, И. Ф. Гончаров соглашается с тем, что «и во время слушания можно быть духовно активным». Вместе с тем он резонно замечает, что, «слушая, ученик не всегда имеет возможность

быть вполне самостоятельным. Полнота самостоятельности там, где ученик-читатель сам конструирует вопросы, сам анализирует произведение, сам готовит доклад и т. п.»

Нас, однако, интересует еще и такой вопрос: следует ли считать, что ученик, увлеченно слушающий учителя, решает при этом некоторую задачу? На этот вопрос можно ответить так. С нашей точки зрения (см. 1.3.5 и 1.4.4), всякое действие субъекта, управляемое осознанной или даже неосознанной целью, направлено тем самым на решение той или иной внутренней для субъекта задачи. У ученика, о котором идет речь, безусловно, имеется познавательная цель (стремление к приобретению информации), хотя эта цель может и не фиксироваться в его сознании, поглощенном содержанием информации. Указанная цель (она же требование решаемой учеником задачи, в данном случае перцептивной) представляет собой модель требуемого состояния знания ученика о некотором объекте; то знание о нем, которым ученик обладает в данный момент, составляет исходный предмет решаемой им задачи.

Таким образом, есть достаточные основания считать, что ученик, с увлечением слушающий рассказ учителя, решает при этом задачу (точнее, последовательность задач). И не следует думать, что это утверждение представляет только теоретический интерес. Выделение познавательных задач, которые должны решать учащиеся, слушая рассказ учителя, позволяет рациональнее построить его (а также и урок в целом).

Этот тезис получил подтверждение в исследовании М. В. Рычика. Для рассказов учителя по курсу природоведения им были подготовлены тексты в комплексе с дополняющими их рисунками. Каждый текст был организован как **иерархическая система познавательных задач, включающая: а) общую задачу, постановке и решению которой посвящен весь рассказ; б) несколько выделяемых в ней подзадач; в) «микрозадачи», решая которые учащиеся предугадывали последующие элементы рассказа.**

Общая задача и подзадачи ставились перед детьми в явной форме, с опорой на рисунок, например: «Надо выяснить, где здесь (на изображенной местности) можно накопать глины». В отличие от этого микрозадачи как таковые не формулировались. Начало фразы (например: «Серые и красноватые участки скалы разделены более темными – коричневыми или желтовато-серыми...») задавало ребенку условие микрозадачи. Затем, после выдержанной учителем небольшой паузы, учащийся воспринимал окончание фразы, дававшее правильный результат решения микрозадачи, «ответ» на нее (в данном случае: «...прослойками другого камня»). Если результат самостоятельного

решения не совпадал с этим ответом, последний возвращал познавательный процесс в запланированное русло формируемого представления, не давая ребенку возможности переключить внимание на посторонние факты. Если же ребенок самостоятельно приходил к правильному решению микрозадачи, то совпадение собственного прогноза со словом учителя переживалось им как успех, поднимающий уровень его познавательных эмоций.

Вывод, достигнутый в результате решения каждой предыдущей микрозадачи, включался в условие следующей – благодаря этому цепь познаваемых объектов и их признаков оказывалась столь же непрерывной, как и при самостоятельном восприятии или представлении детьми природных явлений. При этом, однако, направленность переходов от одного образа к другому соответствовала не случайным условиям наблюдения, а заранее спланированной системе связей изучаемых явлений, что создавало предпосылки для их последующего понятийного осмысления.

Результаты обучающего эксперимента подтвердили эффективность разработанной методики. Было констатировано, в частности, повышение успешности учения при переходе к восприятию последующих текстов.

Подобным же образом понимание письменного текста достигается путем решения системы познавательных задач, большей частью явно неформулируемых в тексте. Понимание учащимися достаточно сложных текстов существенно облегчается и становится более глубоким, если у них специально формируются приемы осмысления текста, суть которых состоит в том, чтобы в процессе чтения выделять задачные ситуации и затем ставить и решать соответствующие им познавательные задачи.

В методике преподавания иностранных языков выдвигается тезис о том, что вообще не следует противопоставлять тексты упражнениям: «Текст в учебном процессе не существует без задания к нему и является компонентом упражнения». Этот тезис лежит в русле задачного подхода, но, по нашему мнению, является несколько упрощенным: надо учитывать, что один и тот же текст может быть включен в разные упражнения, или, лучше сказать, в разные задачи. Такие задачи могут не только предлагаться учителем или учебником, но и ставиться самими учащимися, к чему их желательно поощрять.

Итак, мы рассмотрели две трактовки понятия учебной задачи: традиционную педагогическую трактовку и широкую трактовку, соответствующую «задачному подходу» к исследованию учебной деятельности. Обратимся теперь еще к одной трактовке того же

понятия, получившей значительное распространение в психологии. Характеризуя учебную задачу как «основную единицу (клеточку) учебной деятельности», Д. Б. Эльконин писал: «Необходимо строгое различие учебной задачи от различного рода практических задач, возникающих перед ребенком в ходе его жизни или специально предлагаемых ребенку взрослыми. **Основное отличие учебной задачи от всяких других задач заключается в том, что ее цель и результат состоят в изменении самого действующего субъекта, заключающемся в овладении определенными способами действия, а не в изменении предметов, с которыми действует субъект**».

Прокомментируем эту формулировку.

Тезис о принципиальном различии практических и учебных задач и о необходимости в связи с этим строить учебные задачи иначе, чем практические, безусловно, верен, и его выдвижение имело важное значение для прогресса педагогической психологии. Из процитированного высказывания, однако, не ясно, что понимается под «целью» (и «результатом») задачи.

Если имеется в виду цель, с которой учитель предлагает задачу учащимся, то может сложиться впечатление, что подход Д. Б. Эльконина не вносит ничего принципиально нового в трактовку учебных задач: ведь все задачи, предлагаемые учащемуся в ходе обучения, даются в конечном счете именно с той целью, чтобы обучить, а значит, изменить его (к сожалению, это не всегда в должной мере учитывается учителями. Как пишет Ю. М. Колягин, анализируя практику решения математических задач в школе, «многие учителя забывают об учебном характере каждой задачи, о том, что она должна обогащать знания и опыт учащихся, учить математической деятельности»). Такое впечатление было бы, однако, ошибочным: рассматриваемый подход не сводится к фиксации нормативных социальных функций учебных задач, а требует, чтобы указанным функциям соответствовали психологические характеристики этих задач.

Одна из таких характеристик выявляется в том случае, если под «целью учебной задачи» понимать цель осуществляемых учащимися действий по решению этой задачи; при этом знания и умения, приобретаемые ими в результате достижения указанной цели, должны объективно представлять собой средства решения критериальных задач некоторого класса, в первую очередь такие, которые обеспечивают успешную реализацию познавательной фазы ориентировки в действиях по их решению (см. 1.3.5).

Так, в исследовании Е. И. Машбица цель действий учащихся при решении так называемых задач-моделей состояла в установлении

математических и логических отношений, существующих между элементами прямоугольного треугольника, а знание этих отношений выступало в качестве средства решения критериальных задач, требовавших нахождения каких-либо элементов прямоугольного треугольника по другим (заданным) элементам.

Другая психологическая характеристика учебной задачи (в рассматриваемом понимании) выявляется в том случае, если под **«целью учебной задачи»** понимать **сознательное стремление учащегося к овладению общим способом ориентировки в материале того или иного типа**. Формирование такого стремления тесно связано с развитием у школьников «одной из главных черт собственно теоретического мышления – рефлексии как умения выделять, анализировать и соотносить с предметной ситуацией свои собственные способы деятельности».

В целом трактовка учебной задачи, предложенная Д. Б. Элькониним, является весьма емкой по содержанию и плодотворной в качестве концептуального средства, помогающего строить эффективный процесс обучения. Тем не менее мы не считаем возможным опереться на эту трактовку как на исходную в характеристике учебных задач: **нам нужно понятие, которое было бы пригодно для описания любых процессов учения и обучения независимо от того, насколько они эффективны, равно как и от того, построены ли они в соответствии с той или иной психологической теорией**.

В этой связи следует признать рациональным практикуемое иногда употребление для обозначения учебных задач в смысле, близком к тому, который вкладывал в этот термин Д. Б. Эльконин, таких терминов, как «специфически учебная задача», «собственно учебная задача» и т. п. Как подтвердили многочисленные исследования, эффективность обучения существенно повышается в условиях, когда специфически учебные задачи выполняют организующую функцию в системе решаемых учащимися задач.

Вернемся теперь к той широкой трактовке понятия учебной задачи, которая соответствует «задачному подходу» к исследованию учебной деятельности. Даже в том случае, если требование, указанное в формулировке задачи, относится к некоторому внешнему предмету (как, например, в математических задачах, используемых в учебных целях), всякая учебная задача должна включать в себя некоторые, по крайней мере неявно выраженные требования к решающему ее субъекту (т. е. учащемуся).

Как пишет А. И. Островский, полноценное решение учебной математической задачи не ограничивается получением верного

«ответа» на поставленный в условии вопрос, а, кроме того, должно удовлетворять дополнительным требованиям. В частности, верный ответ «должен быть получен не любой ценой, а с минимальными затратами»; **решение задачи не должно сводиться к механическому, без понимания ее сути, выполнению операций над заданными величинами.** «Полный эффект, – заключает А. И. Островский, – будет достигнут только тогда, когда учащийся осознает, что с помощью математики он не только получил верный ответ на поставленный в задаче частный вопрос, но и **полностью разобрался в тех процессах, явлениях, состояниях, которые связаны с решенной задачей**».

Мы считаем, что в подобных случаях следует различать:

а) неотнесенную задачу M , скажем математическую, в которой выделен некоторый исходный предмет и некоторое требование;

б) отнесенную задачу m_q с теми же исходным предметом и требованием, рассматриваемую также в рамках математики, но уже по отношению к идеализированному решателю Q (системе математических и логических средств решения задач);

в) отнесенную задачу m_r , имеющую тот же исходный предмет и то же требование, что и неотнесенная задача M , но рассматриваемую исследователем по отношению к учащемуся как решателю R с определенными характеристиками (напомним проведенное в 1.3.3 различие способов решения задач, обозначенных здесь как m_q и m_r);

г) отнесенную учебную задачу n_r , построенную на базе задачи m_r и включающую в себя требования к учащемуся (а также, как правило, дополнительную информацию, относящуюся к решению задачи, см. 1.3.4).

Из сказанного вытекает неправомерность отождествления учебной задачи с той математической (или грамматической, физической и т. п.) задачей, на которой эта учебная задача основана. Формулировка математической задачи (в других случаях – компоненты такой формулировки) – это лишь материал учебной задачи, решаемой учащимися в процессе изучения математики. Для решения этой учебной задачи могут потребоваться разные действия с указанным материалом (не только и не всегда – действия, направленные на решение упомянутой математической задачи).

Так, учащимся может быть предложено применить для решения одной математической задачи несколько способов, с тем чтобы «отыскать наиболее оригинальное, красивое, экономичное решение». Для достижения этой цели требуется вспоминать теоретические положения, а также методы и приемы решения задач и анализировать все эти средства с точки зрения применимости к описанной в задаче ситуации. «Вооружая» учащихся стратегией отыскания оптимального

способа решения, учитель одновременно должен поощрять их самостоятельные находки.

П. М. Эрдниев и Б. П. Эрдниев обосновывают необходимость широкого применения в обучении математике «многокомпонентных заданий». Такое задание может предусматривать, например: а) решение обычной «готовой» задачи; б) составление обратной задачи и ее решение; в) составление аналогичной задачи по данной формуле (тождеству) или уравнению и решение ее; г) составление задачи по некоторым элементам, общим с исходной задачей; д) решение или составление задачи, обобщенной по тем или иным параметрам исходной задачи». Авторы обращают внимание на то, что «всякая математическая задача поистине неисчерпаема в своих связях с другими задачами; после решения задачи почти всегда можно... найти несколько направлений, в которых удастся решить и обобщить задачу, найти затем решения созданных таким образом новых проблем».

В ряде работ описано несколько апробированных в начальных классах школы систем заданий развивающего характера, построенных на базе сюжетных математических задач. Эти системы предусматривали, в частности, изменение структуры математической задачи (например, переход от прямой задачи к обратной), дополнение заданных формулировок, составление математических задач, которые соответствовали бы практическим ситуациям определенных типов.

Роль материала, на котором строятся учебные задачи, могут выполнять и формулировки принципиально неразрешимых задач, а также псевдозадачные формулировки (см. 1.4.1). Вместе с тем, говоря, в частности, о начальном обучении математике, следует подчеркнуть, что готовые формулировки математических задач (в том числе особые типы формулировок) – это хотя и важный, но лишь частный вид материала, на котором строятся учебные задачи.

В 1 – IV классах Павлышской школы, писал В. А. Сухомлинский, «дети решают задачи, составленные ими самими в процессе наблюдений, в процессе исследования пространственных, функциональных, причинных связей между явлениями и предметами. До тех пор пока ученики не осмыслили истоки, происхождение математической задачи, им не дают готовых задач».

Завершая параграф, охарактеризуем соотношение понятий «учебная задача» и «познавательная задача». Очевидно, что:

1) познавательные задачи решаются отнюдь не только в ходе учебной деятельности, и, значит, только некоторые познавательные задачи являются учебными;

2) среди учебных задач основную массу составляют познавательные. Вместе с тем имеются и такие учебные задачи,

которые познавательными не являются (например, коммуникативные, двигательные);

3) всякая специфически учебная задача направлена на овладение «общим способом решения всех задач определенного класса» и потому может быть интерпретирована как познавательная.

1.7.3. Учебный материал и его заданная структура

Понятие учебного материала очень широко применяется в практике и теории обучения, но сравнительно недавно стало объектом углубленного теоретического анализа. Мы не станем здесь комментировать эти работы и сопоставлять изложенные в них точки зрения с нашей, поскольку не стремимся дать развернутый анализ данного понятия, раскрыть его связи с другими дидактическими понятиями. Наша цель скромнее: она состоит в иллюстрации возможностей применения рассмотренного в работе концептуального аппарата, и в особенности категорий «модель» и «задача».

Пусть имеется некоторый текст, используемый в процессе обучения. Что же следует считать учебным материалом: данный текст как таковой, его основное содержание или, наконец, то общее, что объединяет методически различающиеся способы изложения некоторой темы и в результате ее изучения должно стать достоянием учащихся? Термин «учебный материал» употребляется во всех трех смыслах, что вызывает немалую путаницу.

Ясно, что уточнение стихийно сложившегося понятия учебного материала требует его «расщепления». Здесь возможны разные терминологические варианты. Рассмотрим один из них. Термин «учебный материал» ставится в соответствие второму из упомянутых выше его смыслов, в то время как первый передается с помощью термина «дидактический материал» (обычно употребляемого лишь для обозначения дополнительных материалов, привлекаемых к использованию в учебном процессе).

Дидактический материал определяется при этом как система объектов, каждый из которых: а) является предназначенной для использования в процессе обучения материальной или материализованной моделью той или иной системы, выделенной в рамках общественного знания и опыта; б) служит средством решения некоторой дидактической задачи.

Примером материальной модели, входящей в состав дидактического материала, может служить действующая модель изучаемого механизма. Основную массу дидактического материала

(тракуемого согласно вышеприведенному определению) составляют материализованные модели – всевозможные схемы, рисунки, карты и, главным образом, тексты, формируемые и воспроизводимые посредством то ли письменной, то ли устной речи.

В связи с пунктом «б» рассматриваемого определения можно вспомнить о вредных последствиях, к которым приводит использование тех или иных компонентов дидактического материала безотносительно к требующим решения дидактическим задачам. Так, например, в связи с рассмотрением функций текстовых математических задач методисты справедливо обращали внимание на то, что, когда в предлагаемых школьникам математических задачах «не различаются их познавательное и развивающее назначения», тогда «неоправданно тратится драгоценное время урока, учиться становится труднее, возникает пресловутая перегрузка, теряется интерес к предмету...».

Что касается *учебного материала*, то он трактуется как система идеальных моделей, несомых упомянутыми (вошедшими в состав дидактического материала) материальными и материализованными моделями и предназначенных для непосредственного использования в учебной деятельности. Последний признак позволяет разграничить два понятия: «учебный материал» и значительно более широкое – «содержание дидактического материала». Так, например, содержание географической карты как компонента дидактического материала образует вся отображенная этой картой информация, которая в принципе может быть использована в учебных целях. Ясно, что в состав учебного материала урока (и даже всего курса географии) входит только часть этой информации.

В свете сформулированных определений анализируется выражение «усвоение материала», широко применяемое в практике и теории обучения. При этом констатируется, что говорить об усвоении дидактического материала было бы вообще бессмысленно, а требовать усвоения всего его содержания - явно избыточно. Более того, вовсе не надо добиваться усвоения учащимися (превращения в их долговременное достояние) всего учебного материала, как он охарактеризован выше. Ведь в состав последнего входят наряду с нормативными (подлежащими такому усвоению в соответствии с принятыми целями обучения) и дополнительные компоненты, служащие средствами усвоения нормативного содержания. Это, в частности, квазиалгоритмы решения учебных задач (так называемые учебные алгоритмы), эвристические предписания и рекомендации, а также предлагаемые учащимся конкретные примеры воплощения изучаемого понятия или проявления изучаемой закономерности.

Напомним теперь, что **учебный материал** состоит из моделей, предназначенных для непосредственного использования в **учебной деятельности**. Последняя же может быть представлена в виде **системы процессов решения учебных задач**. При таком подходе единицей членения учебного материала оказывается учебная задача, и построение системы таких задач становится стержнем работы по построению учебного материала, а также дидактического материала, в котором он находит воплощение.

Обосновывается целесообразность выделения структурных компонентов учебного материала, соответствующих перцептивно-мнемическим, мыслительно-имагинативным и коммуникативным задачам, а также его функциональных компонентов, обеспечивающих соответственно усвоение операционной структуры изучаемого способа действия, сферы возможных целей его применения и класса объектов, к которым он приложим. М. В. Рычик попытался указать наиболее подходящие методические формы для каждого из девяти возможных сочетаний друг с другом перечисленных выше структурных и функциональных свойств, которыми могут обладать компоненты учебного материала. Так, например, перцептивно-мнемическая задача наилучшим образом реализуется с помощью инструктивного, описательного или справочного текста в зависимости от того, служит ли ее решение усвоению, соответственно, операционных, целевых или объектных характеристик изучаемого способа действия.

1.7.4. Задачный подход к построению процесса обучения систем искусственного интеллекта

Вернемся к общему положению об учебной задаче как единице членения учебного материала. В программированном обучении систем искусственного интеллекта такое членение осуществляется явным образом: учебной задаче здесь соответствует **фрагмент обучающей программы**. Вместе с тем независимо от того, какая форма обучения используется, выступает ли в качестве источника учебной информации печатный текст, или живое слово обучающего, или, скажем, кинофильм, в любом случае целесообразно проектировать систему учебных задач, решение которых должно обеспечить овладение требуемыми знаниями и умениями. Это дает основание говорить о задачном подходе не только к исследованию, но и к построению процесса обучения.

Мы не будем здесь излагать принципы построения систем учебных задач. Подчеркнем лишь, что указанные системы должны

строиться в соответствии с установленной ранее иерархической системой целей обучения, обеспечивая вклад в достижение и тех из них, которые находятся на верхних ступенях иерархии (см. выше 1.7.1).

Использование положений теории задач позволяет при разработке систем учебных задач уточнять их структуру, устанавливать их качественные и количественные характеристики.

Задачный подход к построению процесса обучения был реализован, например, в разработке М. В. Рычика, уже описанной кратко в 1.7.2. Напомним, что она была посвящена конструированию учебного текста (рассказа учителя) по курсу природоведения на основе построения иерархической системы познавательных задач. Цели обучения предусматривали здесь не только усвоение знаний, заданных программой курса, но и пропедевтику формирования естественнонаучных понятий и основ мировоззрения, развитие у школьников способности к самостоятельному целеполаганию и к применению в разнообразных жизненных ситуациях приобретаемых в школе знаний и умений. При построении упомянутой системы задач использовались теоретические положения, описывающие структуру познавательных задач. Например, сюжет «Разрушение скальной гряды в результате процессов выветривания» был подразделен на сюжеты подзадач, описывавших соответственно процессы разрушения скал, затем получившихся из них валунов, затем щебня и т. д. Каждая такая подзадача (кроме последней) по классификации, приведенной в 1.5.5, представляла собой задачу использования имеющегося состояния: вначале достаточно полно описано только исходное природное тело (например, скалы в первой подзадаче), а природные воздействия на него и результат его разрушения требуют раскрытия. Последнюю же подзадачу можно считать задачей преобразования, ибо здесь заранее известное конечное состояние – глина (общий вопрос задачи, решению которой посвящен весь рассказ: «Где можно накопать глины?»). При этом последняя подзадача могла выступать в разных вариантах (различавшихся описаниями начального состояния преобразуемого объекта), поскольку переход к ней мог осуществляться на разных этапах решения общей задачи.

Другим примером применения задачного подхода может служить исследование, посвященное разработке многоуровневых обучающих программ по курсу технической механики для техникумов. Синтез новой схемы знания, в которой воплощается целостное понимание изучаемого явления или закономерности, проектировался здесь как результат решения сравнительно крупной познавательной задачи, включающей в качестве подзадач задачи понимания отдельных

суждений. Были разработаны оценки сложности таких подзадач, равно как и упомянутой задачи синтеза знания, что позволило установить обоснованные характеристики различающихся по сложности уровней программы, а также критерии межуровневых переходов и на этой основе оптимизировать процесс учения.

Теперь обратим внимание на то, что **проектирование систем учебных задач, удовлетворяющих заранее намеченным требованиям, с использованием при этом положений теории задач – это только один из аспектов задачного подхода к построению процесса обучения. Другой аспект касается содержания обучения. Описанный в настоящей работе понятийный аппарат общей теории задач может быть использован как основа для построения систематизированных описаний задач, решению которых должны научиться обучаемые (т. е. критериальных задач).** В адаптированном виде такие описания могут предоставляться в распоряжение обучаемых, либо у них можно формировать соответствующие этим описаниям способы действий.

Проиллюстрируем реализацию этого аспекта задачного подхода на примере упоминавшейся уже в 1.7.2 разработки систем заданий развивающего характера на базе сюжетных математических задач. Эта разработка, ориентированная на младших школьников, предусматривала, в частности, формирование у них понятий о задаче (математической) и ее основных компонентах. **Чтобы учителя начальных классов могли осуществлять такое формирование, прежде всего необходимо было «вооружить» их сводкой основных научных сведений о структуре и свойствах задач. Ниже приводится составленный в рамках данной разработки вариант такой сводки, построенный путем адаптации положений теории задач, содержащихся в разделах 1.3 и 1.5 настоящей работы.**

1. В любой задаче имеется трудность, которую нужно преодолеть. В математической задаче – это наличие неизвестных характеристик определенных объектов. Об этих характеристиках мы не всё знаем из того, что нас интересует. Об известных характеристиках мы, напротив, знаем всё, что нам нужно.

2. Текст любой задачи состоит из **условия и требования**. Форма представления этих компонентов может быть разной. Так, например, требование математической задачи может выражаться как вопросительным предложением, так и повествовательным с глаголом в повелительном наклонении. Вопросительное предложение, которым чаще всего завершается текст задачи, может, кроме требования, содержать в себе и часть условия.

3. Условие задачи – это описание ситуации особого типа. В условии математической задачи описывается ситуация, в которой неизвестна какая-либо характеристика (или характеристики) того или иного объекта (или объектов).

4. Требование математической задачи состоит в том, чтобы описать с необходимой полнотой так называемые искомые характеристики, т. е. все или некоторые неизвестные характеристики. Для этого следует использовать связи между известными и неизвестными характеристиками.

5. Количество известных и неизвестных характеристик в задаче может быть самым различным.

6. Решить задачу – это значит выполнить ее требование. В общем случае в ходе решения можно и не использовать некоторые из имеющихся в условии задачи сведения, в том числе некоторые из числовых данных. Пользоваться надо только теми данными, которые необходимы для выполнения требования задачи. Если имеющихся в условии задачи данных недостаточно для его выполнения, то задачу нельзя решить без необходимою дополнения данных.

7. Составить задачу в данной ситуации – это означает сформулировать определенное требование и выделить условия его выполнения.

Учащимся начальных классов эта сводка сведений в таком виде не сообщалась, но в соответствии с ней было разработано несколько систем заданий, с помощью которых каждый учащийся в ходе индивидуальной работы мог выделить ряд существенных признаков понятий о задаче и ее компонентах. Осуществленные учащимися обобщения проверялись и корректировались на уроках в ходе коллективного обсуждения.

Применялись, в частности, задания, предусматривавшие: решение задач, где неизвестные описаны в косвенной форме; анализ и решение (после необходимого дополнения, если такое требуется) задач с недостатком или избытком данных; конструирование задачи из условия и требования (для выражения которых использовались разные логико-грамматические конструкции); составление задач по рисункам. В заданиях последней группы для наглядного представления неизвестной характеристики как такой, о которой «мы не всё знаем, что нас интересует», применялся такой прием: изображались, например, стоящие за деревьями автомобили, количество которых непосредственно подсчитать невозможно, а можно только вычислить, исходя из имеющихся в задаче известных характеристик.

Опыт применения этих систем заданий подтвердил их доступность учащимся начальных классов и полезность работы с ними для успешного овладения математическими знаниями и развития мышления школьников.

Заключение

Подводя общий итог содержанию 1-го раздела, можно констатировать, что средства теории задач приносят пользу в работе, направленной на совершенствование понятийного аппарата педагогики и психологии, на построение систем обучающих воздействий и на формирование у учащихся более адекватных представлений об изучаемых ими задачах.

Наиболее актуальные направления дальнейшей разработки психолого-педагогических аспектов теории задач, на наш взгляд, таковы.

Это, во-первых, соотнесение положений теории задач с концепциями, сложившимися в рамках частных методик, без чего невозможно широкое применение указанных положений в целях совершенствования средств и процесса обучения различным предметам.

Во-вторых, следует использовать эти положения (по мере необходимости дорабатывая их, в том числе в направлении дополнительной операционализации) в работе по компьютеризации обучения. Эффект их применения здесь должен быть, по-видимому, наибольшим.

В-третьих, результаты исследования задач и процессов их решения, специфичных для совместного функционирования двух (или большего числа) решателей, должны активно использоваться как в целях той же компьютеризации, так и в связи с построением групповых форм учебной работы, обучением подлинно коллективной деятельности.

Специальное внимание следует уделить изучению и совершенствованию систем задач, решаемых учащимися в процессе трудового обучения и производительного труда.

Наконец, необходимо углубленное изучение задачной структуры функционирования личности, в том числе анализ решения ею задач организации собственного поведения и взаимодействия с другими людьми. Прогресс в разработке этой проблематики сделает возможным продуктивное приложение задачных представлений к сфере искусственного интеллекта.

Заслуживает внимания следующая мысль писателя Фазиля Искандера: «Ум и мудрость. Ум – это когда мы самым лучшим

образом решаем ту или иную жизненную задачу. Мудрость обязательно сопрягает разрешение данной жизненной задачи с другими жизненными задачами, находящимися с этой задачей в обозримой связи. Поэтому мудрость часто пренебрегает самым лучшим решением данной задачи ради чувства справедливости по отношению к другим задачам. **Умное решение может быть и безнравственным. Мудрое – не может быть безнравственным**». Вспомним также характеристику мудрости С. Л. Рубинштейном как умения «не только изыскать средства для решения случайно всплывших задач, но и определить самые задачи и цель жизни так, чтобы по-настоящему знать, куда в жизни идти и зачем...» .

Описывая помятая теории задач, мы стремились охарактеризовать каждое из них и отношения между ними возможно более четко. Получилась как бы сеть, составленная из отдифференцированных друг от друга, «дизъюнктивных» (в терминологии А. В. Брушлинского) понятий. В этой связи возникает вопрос о том, подходит ли такая понятийная сеть для описания характерных для человеческой деятельности «недизъюнктивных» процессов, стадии которых «непрерывно как бы проникают друг в друга, сливаются, генетически переходят одна в другую и т. д.».

Мы считаем возможным ответить на этот вопрос положительно, с той оговоркой, что «дизъюнктивные» понятия выступают в данном случае как средства анализа изменчивых и противоречивых реальных объектов, как своего рода вехи, упорядочивающие мышление о них, а не как жесткие «полочки», разложить по которым такие объекты чаще всего не удастся.

Конкретизируя последний тезис, можно выдвинуть следующие требования. Во-первых, как уже указывалось во введении, используемая понятийная сеть должна быть достаточно густой. Во-вторых, следует использовать разные варианты соотнесения «дизъюнктивных» понятий с одними и теми же реальными объектами, выделяя тем самым различные стороны их сущности.

В работе предприняты усилия по реализации первого из выделенных здесь требований. Что касается второго, то желательно проследить на конкретном примере, как осуществляется подобное соотнесение. С этой целью обсудим такой вопрос: можно ли описать любой процесс обучения как решение обучающим некоторой системы коммуникативных задач (см. 1.5.3)?

На первый взгляд ответ должен быть положительным. В самом деле, вначале ученик владеет недостаточно полной информацией о том или ином объекте, а учитель – достаточно полной. Но затем он с

помощью последней достигает необходимого пополнения информации, которой владеет ученик.

Такой ответ может быть, однако, оспорен на том основании, что в качестве источника учебной информации отнюдь не всегда выступает учитель. Это позволяет утверждать, что коммуникативные задачи решаются учителем не во всех ситуациях обучения. Столкнувшись с таким возражением, сторонник тезиса о «коммуникативном характере обучения» может уточнить свою позицию, указав, что в качестве решателя коммуникативных задач выступает учитель, «вооруженный» различными средствами обучения (учебниками, наглядными пособиями и пр.), которые могут служить непосредственными источниками информации для учеников.

Но и это уточнение не спасает положения. Достаточно сослаться на тот случай, когда старшеклассник или студент обращается, выполняя задание преподавателя, к дополнительной литературе, в том числе, возможно, и незнакомой преподавателю.

Казалось бы, вывод ясен: **обучение может быть описано как решение коммуникативных задач очень часто, но не всегда**. Тем не менее нельзя признать окончательным и этот вывод, поскольку есть возможность «соотнести деятельность преподавания с коллективным субъектом».

Итак, мы убедились в том, что понятие теории задач (в данном случае – «коммуникативная задача»), обладая вполне определенным содержанием, может быть самым разным образом соотнесено с реальными ситуациями обучения. **В ходе такого многократного соотнесения вскрываются всё новые стороны изучаемой реальности, что способствует ее более глубокому познанию.**

Наряду с этим некоторому реальному объекту могут быть поставлены в соответствие разные понятия теории задач. Вспомним хотя бы пример, приводившийся в 1.5.5. «Одну и ту же» решаемую учеником задачу на нахождение корней квадратного уравнения оказалось целесообразным относить к разным видам трехкомпонентных познавательных задач в зависимости от того, владеет ли ученик общим методом решения квадратных уравнений. Добавим к этому теперь, что если ученик только овладевает таким методом, то альтернативные представления, взятые из теории задач, являются как бы гранями, между которыми находится развивающийся объект – реально решаемая задача.

Проведенное обсуждение, как нам кажется, подтверждает целесообразность использования четких («дизъюнктивных») понятий теории задач как средств анализа противоречивых, «живых» процессов, в том числе процесса обучения.

Впрочем, здесь следует говорить не только об анализе, но и о синтезе, построении обучения. Квалифицированное использование средств теории задач, учитывающее неоднозначность их соотношений с компонентами «живого» педагогического процесса, не несет в себе угрозы его «засушивания», а, напротив, позволяет достигнуть в нем большего разнообразия и расширить его развивающие возможности.

2. Задачи познания и искусственный интеллект

2.1. Цели создания объектов искусственного интеллекта

Выбор цели создания объектов искусственного интеллекта — это один из важнейших творческих этапов в решении различных тем и проблем искусственного интеллекта. Так, при создании новых систем искусственного интеллекта выбрать цель — значит решить, систему искусственного интеллекта какого класса и какого назначения следует создавать. Во многих случаях цель создания диктуется процессами научной и практической целесообразности.

В любой ситуации принятия того или иного решения исследователь должен прежде всего ответить на вопрос: к чему мы стремимся? В чем состоит цель исследования? Вряд ли можно дать четкий ответ на этот вопрос при слишком «глобальном» подходе, например, к цели существования всего человечества, Солнечной системы и т. п. Однако в рамках четко очерченной ситуации ответ может быть точно определенным. В математических моделях принятия решений существует способ формализации цели, состоящий во введении целевой функции. Такая функция для каждого из возможных исхода численно оценивает его полезность для лица, принимающего решение, хотя не всегда удобна, так как не все сводится к числу или системе чисел. Так, нельзя оценить труд ученого только количеством опубликованных им работ. Можно опубликовать одну работу, но решить в ней чрезвычайно крупную проблему в той или иной области науки, перевернуть существующие до этого представления, сделать открытие. Понятно, что здесь суть не в количестве научных работ.

В реальных задачах мы обычно имеем дело со сложными системами: техническими, экономическими, биологическими, экологическими, социальными и т. д. Как же определять целевую функцию в тех случаях, когда «формальное описание» может быть нереализуемым?

Под формальным описанием понимается математическая (знаковая) модель объективной действительности. Математическая модель задачи принятия решения — формальное описание составляющих ее компонентов: цели, средств, результатов, а также связи между последними. Можно дать формальное описание цели, взяв за основу связанное с ней отношение предпочтения. Обычно для этого выделяют множество всех тех пар результатов, для которых один результат соответствует цели ближе, чем другой (при двоичном выборе: «который из двух»). Здесь легко составить отношение предпочтения, так как в такой ситуации не требуется проведения количественной оценки.

Обобщенное понимание цели прочно вошло в теорию познания с утверждением в ней представлений о потенциальной помехоустойчивости, «идеальном» приемнике, оптимальной фильтрации, пропускной способности.

Рассмотрим разработку дерева целей на примере НИР и ОКР в области радиоэлектроники (рис.1).

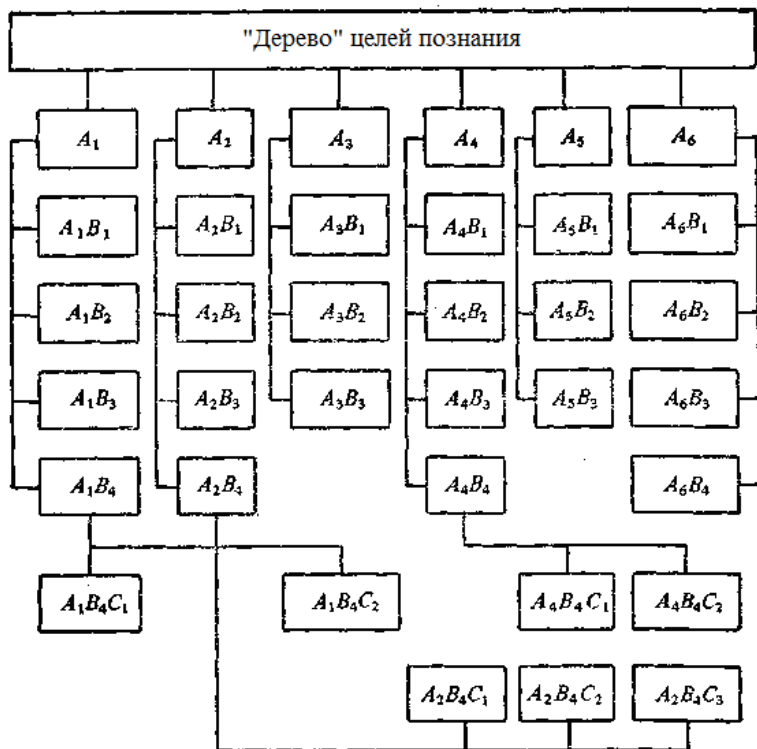


Рис. 1. «Дерево целей» НИР и ОКР в области радиоэлектроники

При разработке дерева целей необходимо исходить из общих требований: соблюдения иерархии целей согласно системных методов; относительной стабильности целей для рассматриваемого периода времени; полноты совокупности целей; отражения в дереве целей как теоретического, так и прикладного аспектов исследования. Перечислим основные уровни и подцели повышения эффективности радиоэлектронного производства:

Уровень 0

Повышение эффективности радиоэлектронной аппаратуры (генеральная цель развития радиоэлектроники).

Уровень А

A₁. Повышение помехоустойчивости радиоэлектронных систем.

А₂. Повышение пропускной способности систем передачи информации и каналов связи.

А₃. Повышение надежности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) — конструктивной, технологической.

А₄. Обеспечение требований электромагнитной и экологической совместимости РЭА.

А₅. Освоение новых диапазонов электромагнитных и акустических волн, обеспечение дальности действия.

А₆. Развитие элементной базы, микроминиатюризация.

Уровень В

Подцель А₁

А₁В₁. Совершенствование методов оптимального радиоприема, применение цифровых систем

А₁В₂. Совершенствование методов помехоустойчивого кодирования и декодирования.

А₁В₃. Совершенствование методов обработки сигналов и сообщений, одновременная оптимизация модемов и кодеков.

А₁В₄. Совершенствование возбуждателей и радиопередающих устройств, улучшение фильтрации гармоник и побочных излучений.

Подцель А₂

А₂В₁. Совершенствование методов уплотнения при многоканальной передаче сообщений.

А₂В₂. Применение методов сокращения избыточности систем.

А₂В₃. Совершенствование методов сжатия спектра частот.

А₂В₄. Повышение скорости передачи сообщений, адаптивная коррекция каналов связи.

Подцель А₃

А₃В₁. Совершенствование методов последовательного резервирования блоков РЭА.

А₃В₂. Совершенствование методов параллельного резервирования блоков РЭА.

А₃В₃. Совершенствование конструкции и технологии изготовления РЭА.

Подцель А₄

А₄В₁. Совершенствование антенно-фидерных устройств.

А₄В₂. Совершенствование способов экранирования отдельных блоков и узлов РЭА.

А₄В₃. Разработка новых методов (фильтров) помехозащиты.

А₄В₄. Оптимизация формы передаваемого сигнала, совершенствование методов оптимального радиоприема.

Подцель А₅

A₅B₁. Совершенствование конструкции и технологии средств канализации электромагнитной энергии (волноводов, световодов).

A₅B₂. Совершенствование методов волоконной оптики.

A₅B₃. Совершенствование и развитие акустоэлектронных систем.

Подцель A₆

A₆B₁. Совершенствование технологии и конструкции БИС, увеличение степени интеграции микрокомпонентов.

A₆B₂. Увеличение широкополосности (быстродействия) всех элементов РЭА, интегральных микросхем и функциональных компонентов.

A₆B₃. Расширение областей применения опто- и акустоэлектронных приборов (оптических модемов, приборов на поверхностных акустических волнах, приборов с зарядовой связью (ПЗС) и др.).

A₆B₄. Повышение надежности, снижение стоимости электронных и микроэлектронных приборов и элементов.

Уровень С

Подцель A₁B₄

A₁B₄C₁. Совершенствование методов стабилизации частоты, разработка новых высокостабильных кварцевых резонаторов.

A₁B₄C₂. Разработка новых транзисторов, совершенствование модульных широкополосных усилителей мощности, разработка принципиально новых методов сложения мощности.

Подцель A₂B₄

A₂B₄C₁. Разработка высокоскоростных систем передачи цифровых сигналов.

A₂B₄C₂. Совершенствование адаптивных полиномиальных и гармонических корректоров временных и частотных характеристик каналов связи.

A₂B₄C₃. Разработка методов комплексной коррекции (оптимизация формы передаваемого сигнала и оптимальный радиоприем), применение методов адаптивного предсказания и корректирования сигналов.

Подцель A₄B₄

A₄B₄C₁. Разработка теоретико-информационных и теоретико-игровых методов синтеза оптимальных систем передачи информации.

A₄B₄C₂. Совершенствование методов формирования сложных сигналов, разработка новых принципов построения широкополосных систем связи с шумоподобными сигналами.

Как видно из рис. 1, построение дерева целей как главная составная часть целевой разработки научно-технической программы основано на последовательной детализации целей по линии: главная цель — подцели первого уровня — подцели второго уровня и т. д. Основой такой детализации является функционально-содержательный принцип, состоящий в том, что каждый целевой компонент разбивается на

целевые компоненты того же содержания, но только на более детальные.

В принципе дерево цели можно развернуть и по чисто производственному признаку, например, при нулевом уровне — повышение эффективности радиоэлектронного производства.

Целевые комплексные программы являются прямым ориентиром в вопросах выбора актуальной тематики научных исследований.

2.2. Реализация «задачного» подхода в теории искусственного интеллекта

2.2.1. Введение в «задачный» подход

Важную роль задач в процессе создания систем искусственного интеллекта осознают все. Однако как объекты особого рода они проанализированы еще недостаточно. Между тем разработка научно обоснованных требований к задачам создания систем искусственного интеллекта и их совокупностям необходима для эффективной реализации методов, процессов и алгоритмов создания систем искусственного интеллекта. Выполнению этих условий (требований) должно помочь квалифицированное исследование задач создания систем искусственного интеллекта, выяснение их общих свойств и построение их типологии, разработка методов оценки их сложности и трудности, принципов построения наборов тестовых задач, в том числе таких, решение которых требует в той или иной степени творческого подхода.

Особую значимость все эти вопросы приобретают в связи с автоматизацией процессов решения задач создания систем искусственного интеллекта, прежде всего с использованием компьютера в качестве средства создания систем искусственного интеллекта. Если последовательность построения задач создания систем искусственного интеллекта может сконструировать компьютер (не обладающий в отличие от исследователя интуицией), то в основу построения такой последовательности должны быть положены четкие научно обоснованные критерии.

Все вопросы, актуальность которых отмечена выше, в той или иной форме затрагиваются в настоящей работе, а некоторые из них

служат предметом детального изучения. При этом, однако, мы сочли целесообразным выйти за рамки традиционного понимания задач, когда последние рассматриваются в качестве специфического (хотя и важного) вида задания. В работе освещается одно из важных направлений фундаментальных и прикладных исследований в области искусственного интеллекта, и прежде всего, в общей теории искусственного интеллекта – так называемый **задачный подход к исследованию и построению научной деятельности, в том числе, и в теории искусственного интеллекта**. Основная его идея заключается в том, что всю деятельность субъектов, в том числе, ученых, целесообразно описывать и проектировать как **систему процессов решения разнообразных задач**, и прежде всего, задач создания систем искусственного интеллекта (объектов, процессов, явлений). Результативность (эффективность) в конечном счете определяется тем, какие именно задачи создания систем искусственного интеллекта, в какой последовательности и какими способами будут решаться. Поэтому излагаемая в работе система качественных и количественных характеристик, описывающих задачи (тракуемые в указанном широком смысле), а также средства и способы их решения, облегчит построение эффективного процесса создания систем искусственного интеллекта (конечно, при условии углубленной проработки этих вопросов в плане соответствующих частных методов).

При теоретическом анализе задач и процессов их решения обычно ограничиваются характеристикой понятия задачи в рамках какой-либо из сложившихся наук. Между тем для проектирования и создания систем искусственного интеллекта большой методический интерес представляет нахождение того общего, что есть в подходах различных наук к описанию задач, и определение на этой основе **общенаучного понятия задачи**. В перспективе такое обобщение можно рассматривать как специальную научную дисциплину, изучающую задачи и процессы их решения в значительной мере **независимо от той предметной области, к которой они относятся**, а также от того, какая материальная система — естественная, искусственная или комбинированная — их решает. В 1971 г. Глушковым В.М. в соавторстве был предложен термин для такой научной дисциплины—**проблемология** - наука о задачах и процессах их решения.

Первым шагом на пути оформления этой дисциплины должно быть уточнение самого понятия задачи.

В психологии мышления под задачей обычно понимают ситуацию для субъекта, которая характеризуется, как заметил Костюк Г.С., «не просто незнанием, а осознанием человеком того, что в известном есть

нечто неизвестное, существенно важное для него (человека) и в то же время такое, что его нельзя сразу выяснить». При этом решение задачи рассматривается как некоторый интеллектуальный, творческий акт. В противоположность этому в области (методах) создания систем искусственного интеллекта, базирующейся на средствах вычислительной техники и программирования к процессам решения задач создания систем искусственного интеллекта будем относить выполнение полностью отлаженной программы над заранее подготовленными и введенными в машину данными, преобразование которых обеспечивает получение достоверных сведений (значений данных) о познаваемом объекте.

Поэтому с целью анализа с единых позиций различных видов взаимодействия человека и ЭВМ необходимо разработать некоторое обобщенное представление задачи, удовлетворяющее как первой, так и второй интерпретации этого понятия. Например, вариант взаимодействия пользователя и системы искусственного интеллекта, можно рассматривать как процесс совместного решения задачи, в котором и пользователь, и система искусственного интеллекта выполняют динамически меняющиеся функции, причем система искусственного интеллекта выполняет не только рутинные действия, но и действия, считающиеся интеллектуальными (конструирование алгоритма, обучение пользователя и т. п.).

«Задачный» подход к исследованию взаимодействия человека и системы искусственного интеллекта будет выражаться в определении типов решаемых задач, в выделении абстрактных средств их решения, а также в «задачном» анализе различных видов взаимодействия человека и системы искусственного интеллекта. Одной из целей задачного подхода является также построение структур различного рода систем искусственного интеллекта, в большей или меньшей степени «способных» к решению задач и к диалогу; другой целью служит определение содержания обучения пользователя, вступающего во взаимодействие с системой искусственного интеллекта, и др.

Приводимые ниже определения понятий носят в значительной мере интуитивный характер и не претендуют на удовлетворение математических критериев строгости. Мы лишь стремились к повышению четкости понятий как за счет уменьшения двусмысленностей и тавтологий, так и за счет введения по возможности однозначных связей между вводимыми понятиями, что, на наш взгляд, является определенным прогрессом по сравнению с положением, характерным для большинства исследований по искусственному интеллекту, человеко-машинным системам и

«диалогу» в широком смысле этого слова, а также для примыкающих к нашему исследованию работ по познанию (объектов).

2.2.2. Базовые понятия: объект, отношение, система, изменение, операция, модель

Вводя определения таких базовых проблемологических понятий, как «изменение», «операция», «модель», прежде всего будем иметь в виду существование и функционирование:

- а) «пассивных» объектов; «активных» объектов, воздействующих на другие объекты;
- б) исследователей или познавателей (наблюдателей), которые тем или иным образом выделяют в окружающем мире «пассивные» и «активные» объекты и познают (изучают) их взаимодействия.

Определение 2.1. Под объектом будем понимать все то, что может быть как-то воспринято, представлено, названо исследователем.

Объект A может находиться в состояниях A_1, \dots, A_m , каждое из которых определяется множеством значений свойств объекта. В тех случаях, когда это удобно, о каждом из возможных состояний A_1, \dots, A_m будем говорить так же, как об отдельном объекте A_1, \dots, A_m .

Объекты могут вступать между собой в различные отношения. Примерами отношений могут служить отношения между людьми — родителями и детьми, начальником и подчиненными, между деталями, составляющими определенный механизм, между словами и предложениями.

Если заданы множества D_1, D_2, \dots, D_n , то R является n -местным отношением на этих n множествах, если R представляет собой множество упорядоченных кортежей $\langle d_1, d_2, \dots, d_n \rangle$, таких, что d_1 принадлежит к D_1 и т. д., d_n принадлежит к D_n . Множества D_1, D_2, \dots, D_n называют областями определения или доменами отношения R . Величина n называется порядком отношения.

Приведем пример отношения, названного «ЧАСТЬ» (имя R — ЧАСТЬ):

ЧАСТЬ	Обозначение части	Название части	Целое	Единица измерения
	a	Сторона верхнего основания	Усеченная правильная пирамида	дм
	b	Сторона основания	Правильная пирамида	дм
	h	Высота	Усеченная пирамида	см
	x	Высота	Правильная пирамида	см

Области определения этого отношения $D_1 =$ ОБОЗНАЧЕНИЕ ЧАСТИ; $D_2 =$ НАЗВАНИЕ ЧАСТИ; $D_3 =$ ЦЕЛОЕ (т. е. тот объект, часть которого задается отношением R); $D_4 =$ ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ-

Определение 2.2. Система (S) — это множество объектов $\{A\}$, рассматриваемое исследователем вместе с отношениями $\{R\}$ между этими объектами. Можно считать, что $S = \{\{A\}, \{R\}\}$

Объекты, образующие множество $\{A\}$ в S , являются компонентами системы. Если система S_1 является компонентой системы S_2 , то S_1 будем также называть подсистемой системы S_2 .

Определение 2.3. Изменение — это превращение (преобразование, отображение) одного объекта в (на) другой или переход некоторого объекта из одного состояния в другое.

Изменение, состоящее в том, что объект A_1 превращается (преобразовывается, отображается) в (на) предмет A_2 , символически будем представлять в виде $A_1 \rightarrow A_2$.

Возникновение или исчезновение объекта рассматривается как его изменение.

О воздействии объекта B на объект A будем говорить в тех случаях, когда объект B вызывает или предотвращает некоторое изменение объекта A . Объект B назовем воздействующим или активным объектом (системой), а объект A — объектом воздействия.

Описывая воздействия некоторой активной системы на те или иные объекты, часто полезно выделять компоненты или свойства этой системы, обеспечивающие осуществление воздействий определенных типов. Эти компоненты или свойства назовем **операторами**.

Активную систему, содержащую операторы, назовем **оперирующей системой**.

Оператор всегда применяется к некоторому объекту (объектам), который назовем **операндом**.

Оператор σ применим к операнду A (оператор σ и операнд A релевантны друг для друга), если применение σ к A может привести к изменению объекта A : $A \rightarrow B$ или $B = \sigma(A)$.

Определение 2.4. Применение оператора σ к релевантному для него операнду A назовем **операцией $\sigma(A)$** . **Операция** — это то, что оперирующая система делала, могла делать или должна была делать, а изменение, осуществленное под ее воздействием — это то, что она сделала, произвела (или могла сделать, или должна была сделать).

Если не требуется указывать тип операнда, условимся обозначать операцию $\sigma(A)$ одним оператором σ .

Определение 2.5. Если тот факт, что система B несет информацию о системе A , позволяет некоторой оперирующей системе S использовать

B в качестве операнда (операндов) вместо A , то B является моделью A для системы S .

В дальнейшем для моделей систем и объектов будем применять следующие обозначения: $A_{k,i}^*$ — модель системы (объекта) A_k для системы S_i , где «*» — символ модели.

Будем использовать и более сложные обозначения для моделей второго порядка или моделей моделей. Например: $(A_{k,1}^*)^* = A_{k,12}^{**} = A_{k,12}^*$ — модель для системы S_2 модели подсистемы A_k , имеющейся у системы S_1 .

Будем различать следующие типы моделей:

- 1) материальные, т. е. такие, материальная форма которых существенно влияет на их функционирование;
- 2) материализованные, т. е. такие, которые, хотя и существуют в материальной форме, но функционирование которых мало зависит от ее особенностей; они делятся на *иконические* — элементы которых сами являются моделями соответствующих элементов моделируемого объекта; *знаковые*, элементы которых (знаки), вообще говоря, не являются моделями; *смешанные*, содержащие элементы знаковых и иконических моделей;
- 3) идеальные модели — абстрагированные от материальной формы.

Всякой идеальной модели соответствует несущая ее материальная или материализованная модель, например, понятийной модели, существующей в науке, соответствует некоторая система текстов.

Обратимся к знаковым моделям или описаниям операций. Операции могут описываться в различных модальностях. Нас прежде всего будут интересовать модальности «факт» («что делала система»); «возможность» («что она могла делать»); «требование» («что должна была делать система»). Описание операции в модальности «требование» является **императивом, или командой**.

2.2.3. Процедуры и алгоритмы

Для последующего изложения представляет интерес рассмотрение различных систем операций.

Определение 2.6. Процедурой назовем систему операций $\Sigma = \{\{\sigma\}, \{R\}\}$, где $\{\sigma\}$ — некоторое множество операций, $\{R\}$ — множество отношений между операциями $\{\sigma\}$.

В зависимости от вида R будем различать:

- 1) разветвленные процедуры, т. е. такие, в которых R представляет собой ориентированный граф, содержащий не менее чем одну операцию, из которой исходит не менее двух ребер;
- 2) распараллеленные процедуры, т. е. такие, в которых не менее двух операций выполняется одновременно (вообще говоря, распараллеленная процедура должна задаваться двумя отношениями: отношением, определяющим переходы от одной операции к другой, и отношением «ВЫПОЛНЯЮТСЯ ОДНОВРЕМЕННО»;
- 3) линейные процедуры, т. е. процедуры, не содержащие ни разветвлений, ни распараллеливаний;
- 4) циклические процедуры, которые содержат отношение, являющееся ориентированным циклом или контуром.

Определение 2.7. Если операнд и (или) образ некоторой операции является объектом, принадлежащим к внешнему по отношению к оперирующей системе миру, то такая операция называется внешней.

Множество внешних операторов, входящих в $\{\sigma\}$, обозначим $\{v\}$.

Определение 2.8. Если релевантные для некоторой операции операнды или образы являются компонентами только оперирующей системы, то такую операцию назовем внутренней. Множество внутренних операторов обозначим $\{\mu\}$.

Если в состав некоторой процедуры входит хотя бы одна внешняя операция, то такую процедуру будем называть внешней. Внутренней назовем такую процедуру, в состав которой входят только внутренние операции.

Выбор разветвления внутри процедуры может быть принудительным и свободным. Выбор является принудительным, когда избираемая операция осуществляется в соответствии с некоторыми условиями, содержащими ссылки на тот или иной признак (признаки) какого-либо объекта (объектов). Принцип принудительного выбора не выдерживается, если упомянутые признаки определены недостаточно точно. В этом случае приходится говорить не о множествах (в строгом смысле) значений переменных, опознаваемых оперирующей системой при выборе пути, а о так называемых размытых множествах. А. Заде определяет «размытые (нечеткие) множества» как «классы, в которых могут быть степени членства, промежуточные между полным членством и отсутствием членства».

Выбор является свободным, когда оперирующая система может выбрать любой из возможных путей, причем вероятности выбора не устанавливаются. Помимо «размытых (нечетких) алгоритмов», принцип свободного выбора реализуется, в частности, в процедурах, называемых «диспозициями», в так называемых недетерминистических

алгоритмах, описанных Р. Флойдом, в «недетерминированных схемах алгоритмов», описанных Р. И. Подловченко.

Разветвленную процедуру, в которой реализуется принцип принудительного выбора, будем называть детерминированной, а процедуру, в которой осуществлен принцип свободного выбора — недетерминированной.

Определение 2.9. Процедура называется *алгоритмической*, если она не содержит недетерминированных разветвлений и состоит только из эффективных операций, т. е. из операций, обеспечивающих совершенно определенные воздействия на рассматриваемые (интересующие исследователя) объекты. Термин «эффективный» употребляется здесь в смысле, близком к тому, какой обычно придается ему в математике.

Определение 2.10. Процедуру назовем квазиалгоритмической, если она не содержит недетерминированных разветвлений и наряду с эффективными операциями содержит по крайней мере одну квазиэффективную операцию, т. е. операцию, обеспечивающую с достаточно высокой вероятностью, определенные воздействия на рассматриваемые объекты.

Эффективные операции характерны для идеализированных оперирующих систем. Бывают также случаи, когда, описывая функционирование реальных оперирующих систем, например вычислительных машин, можно пренебречь их отличием от идеализированных оперирующих систем (абстрактных цифровых автоматов), осуществляющих только эффективные операции. Однако при рассмотрении надежности ЭВМ абстракция безошибочности уже недопустима. При переходе от описаний функционирования технических систем к описанию человеческой деятельности абстракция безошибочности еще более сужается и понятие квазиэффективной операции и процедуры оказывается здесь весьма полезным.

Определение 2.11. Алгоритмом (квазиалгоритмом) назовем знаковую модель в модальности «требование» алгоритмической (квазиалгоритмической) процедуры, в которой предусматривается выполнение конечного числа операций, а также хотя бы одна из операций имеет **родовой операнд**, т. е. операнд, представляющий собой произвольный элемент множества индивидуальных объектов, заданного некоторым набором признаков. Общая («генетическая») схема базовых проблемологических понятий, введенных нами ранее, представлена на рис. 1.

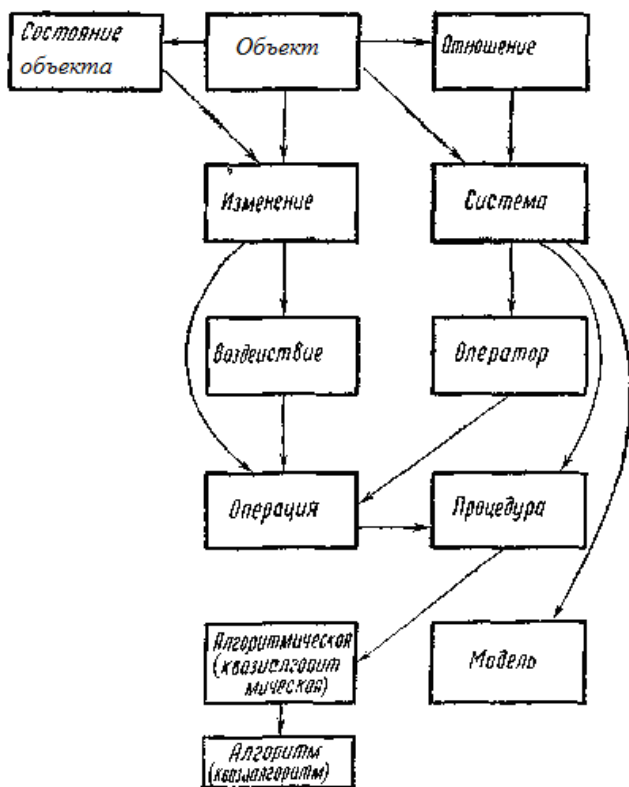


Рис. 1.

2.2.4. Обобщенная модель задачи и решающей системы

В данном разделе предлагаются обобщенные модели задачи и решающей системы, применяемые для исследования различных видов взаимодействия пользователя и ЭВМ.

Определение 2.12. Объектная область (структура объектной области) — это тройка

$$K = (\{k\}, \{\sigma\}, \{R\}),$$

где $\{k\}$ — множество объектов; $\{\sigma\}$ — множество возможных операций, заданных на $\{k\}$; $\{R\}$ — множество предикатов (отношений, заданных на $\{k\}, \{\sigma\}$).

Операции, входящие в объектную область, также могут находиться между собой в различных отношениях, образуя **процедуры**. Содержательно объектная область представляет собой множество допустимых (с точки зрения физических и логических законов) состояний объектов и отношений между ними.

Примерами объектной области могут служить априорная «модель мира» в работах по автоматизации решения задач, по искусственному интеллекту, «язык», учебный предмет или его раздел и т.д.

Определение 2.13. Задачей Z_k называется (рис. 2) тройка $\{K, K_{\text{акт}}, K_{\text{тр}}^*\}$, где K — объектная область; $K_{\text{тр}}^*$ — модель требуемого состояния объектной области, причем само требуемое состояние $K_{\text{тр}}$ входит в K после решения задачи.

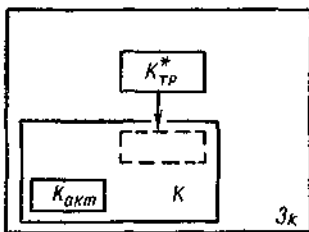


Рис. 2.

Определение 2.14. Формулировкой задачи (ФЗ) назовем ее знаковую модель, т. е. $\text{ФЗ} = (K, K_{\text{акт}}, K_{\text{тр}}^*)$.

Пример. Формулировка задачи: «Найти объем V_A правильной четырехугольной усеченной пирамиды, если даны ее высота h , сторона a верхнего основания и сторона b нижнего основания».

Здесь предполагается, что объектная область или объект этой задачи K^* включает знания решающего по стереометрии. Характерной особенностью актуального состояния этой задачи является наличие в его составе отношения $R_{\text{ин}}$.

$R_{\text{ин}}$	Наименование компонента $K_{\text{акт}}^*$	Обозначение	Полнота информации
	Правильная четырехугольная усеченная пирамида	A	известно
	Высота A	h	»
	Сторона верхнего основания A	a	»
	Сторона нижнего основания A	b	»
	Объем A	V_A	неизвестно

Требование задачи $K_{\text{тр}}^{**}$ состоит в нахождении неизвестного решающему функционального отношения $X(V_A, a, b, h)$.

Определение 2.15. Изменение актуального состояния в требуемое назовем процессом решения или просто решением задачи.

Решение задачи может быть выражено любой системой изменений, эквивалентной $K_{\text{акт}} \rightarrow K_{\text{тр}}$.

Требуемое состояние $K_{\text{тр}}$ назовем также результатом решения задачи.

Введенное нами понятие задачи является простейшим из рассматриваемых в данной работе уточнений понятия задачи. Это понятие хорошо отражает факт существования задач, в основном, в виде их формулировок, не связанных, не соотношенных с системами, их решающими. Обычно рассматриваются решения задач, обеспечиваемые теми или иными системами.

Определение 2.16. Оперирующую систему, которая обеспечивает, может обеспечивать или должна обеспечивать решение задачи, назовем решающей системой (РС).

Для осуществления необходимых воздействий, обеспечивающих изменение (отображение) $K_{\text{акт}}$ в $K_{\text{тр}}$, всякая решающая система прежде всего должна обладать некоторый множеством операторов $\{\sigma\}$ и (или) процедур $\{\Sigma\}$.

В качестве решающих систем могут выступать субъекты, коллективы субъектов, вычислительные машины, человеко-машинные системы, системы искусственного интеллекта и т. д.

В соответствии с определением 2.13 задача может рассматриваться в двух планах: с абстрагированием от решающей системы (чтобы подчеркнуть этот факт, назовем такую задачу *неотнесенной*) и без такого абстрагирования — в этом случае будем говорить об *отнесенной* задаче. Важность изучения отнесенных задач, особенно в методах создания систем искусственного интеллекта, зачастую под задачей будем понимать не просто внешнюю ситуацию для субъекта, а ситуацию, которая характеризуется «не просто незнанием, а осознанием человеком того, что в известном есть нечто неизвестное, существенно важное для него (человека) и в то же время такое, что его нельзя сразу выяснить». В этой связи Д. Берлайн отмечает, что «часто говорят о задаче как о чем-то, что существует во внешнем мире. Она предъявляется субъекту на листе бумаги или он обнаруживает ее где-то в природе. Однако то, что составляет задачу для одного индивидуума, может не быть задачей для другого».

Определение 2.17. Отнесенной задачей (ОЗ) назовем множество $OZ = \{З, РС\} = \{K, K_{\text{акт}}, K_{\text{тр}}^*, РС\}$, где РС — решающая система, компонентами которой являются множества средств решения задачи.

Как отмечает Г. А. Балл, «решающая система РС, к которой отнесена задача, может быть реально существующей или потенциальной, предполагаемой; конкретной (единичной) или любой из некоторого

класса систем. Она может быть описана с разной степенью полноты. Так, в качестве решающей системы может быть указан «инженер», «инженер-конструктор»,..., «инженер-конструктор высокой квалификации И. И. Иванов, специально изучивший документацию по данному проекту и т. д.».

В любой задаче, как правило, можно выделить другие задачи — более мелкие, простые, частные,— решение которых зачастую является необходимым предварительным условием решения первоначальной задачи.

Определение 2.18. Подзадачей задачи Z_k (PZ_k) назовем такую задачу, для которой справедливо хотя бы одно из следующих условий:

- а) решение PZ_k , т. е. изменение $PK_{акт} \rightarrow PK_{тр}$, входит в изменение, представляющее собой решение Z_k , т. е. в $K_{акт} \rightarrow K_{тр}$;
- б) процедура решения PZ_k , т. е. $\Sigma_{пк}$, входит в процедуру решения Z_k ;
- в) модель процедуры решения PZ_k , т. е. $\Sigma_{пк}^*$, входит в модель процедуры решений Z_k ($\Sigma_{пк}^* \subset \Sigma_k^*$).

Определение 2.18 справедливо как для неотнесенных, так и для отнесенных задач. Кроме того, приведенное определение подзадачи является более строгим в смысле использования базовых проблемологических понятий, чем аналогичные определения, предложенные Г. А. Баллом.

Пример. Для Z_k с формулировкой «найти объем V_A правильной четырехугольной усеченной пирамиды, если даны ее высота h , сторона a верхнего основания и сторона h нижнего основания», подзадачами могут быть:

- 1) задача по нахождению объема полной («большой») пирамиды.
- 2) задача по нахождению объема второй полной пирамиды, дополняющей усеченную пирамиду до «большой» полной пирамиды;
- 3) задача по нахождению высоты второй полной пирамиды.

Рассмотрим состав решающей системы. В отличие от оперирующей системы РС должна содержать не только операторы $\{\sigma_j\}$ и процедуры $\{\Sigma_j\}$, но и следующие специфические операнды:

- 1) по каждой решаемой ею задаче — $K_{тр,j}^*$ и $\{K_{акт,j}^*\}$;
- 2) множество U_j^* моделей объектных областей (объектов задач) $U_j^* \cong K_j^*$. В частном случае, у специализированной PC_j $U_j^* = K_j^*$; множество $\{U_j^*\}$ представляет собой основу знаний решающей системы PC_j ;
- 3) модели $\{\sigma_j^*\}$ и $\{\Sigma_j^*\}$, описанные в модальности требования.

Модели Σ^* у физических лиц, решающих задачу, зачастую будем называть способами решения задач; применительно к ЭВМ модели

Σ_j^* — это программы на входных языках программирования, реализующие алгоритмы решения задач.

Для хранения указанных моделей решающая система должна располагать подсистемой памяти. Будем рассматривать **подсистему памяти как имеющую двухуровневую структуру и состоящую из подсистемы кратковременной (оперативной) и подсистемы долговременной памяти**. Такое представление согласуется как с данными об организации памяти человека, хранящего текущие внутренние операнды и образы (у нас $\{K_{\text{акт.},j}^*\}, \{K_{\text{тр.},j}^*\}$ в кратковременной памяти, а опыт и модели внешнего мира $\{K_{j,}^*, U_j^* \supset K_j^*, \{\Sigma_j^*\}, \{\sigma_j^*\}\}$ — в долговременной, так и с организацией памяти систем разделения времени и систем искусственного интеллекта.

Интересно отметить соотношение между процедурами $\{\Sigma\}$ и знаниями PC_j по этим процедурам, т. е. моделями $\{\Sigma_j^*\}$. Если представить себе, что операции $\{\sigma\}$, составляющие процедуры $\{\Sigma\}$, способны к преобразованию очень широкого спектра данных (как в смысле их обобщенности, так и физического представления), то «банк» процедур PC_j может быть сокращен, так как каждая процедура будет строиться из операций $\{\sigma\}$ по моделям $\{\Sigma_j^*\}$ по мере надобности. При этом решение любой задачи может быть представлено как более или менее многоуровневый иерархический процесс, причем нижний уровень будут занимать операции σ , работающие с некоторыми «атомарными» данными.

Будем считать, что оперирующая или решающая система обладает некоторой процедурой Σ_k если:

- а) у РС имеется соответствующая система операций, готовая к выполнению данной системой;
- б) в памяти данной системы хранится модель Σ_k^* , состоящая, например, из моделей таких операторов σ , которыми располагает данная система.

Применительно к ЭВМ, выступающей в качестве оперирующей или решающей системы, вариант а) соответствует случаю, когда в машине имеется, например, микропрограмма, реализующая Σ_k . Вариант б) соответствует случаю, когда ЭВМ содержит рабочую программу (абсолютную фазу), являющуюся моделью Σ_k^* , а также располагает всеми операциями, составляющими Σ_k .

Важным является случай, когда моделью Σ_k^* владеет одна решающая система, а выполняет операции, составляющие Σ_k , другая РС.

Представляет интерес рассмотрение в плане развиваемых здесь положений видов владения процедурой или способом решения задачи у субъекта. Можно отметить здесь следующие два основных процесса:

- 1) свертку (сокращение, сжатие) модели процедуры Σ_k после ее успешных выполнений;
- 2) саморефлексию или «осознание» своего владения процедурой.

Применительно к рассматриваемой модели РС свертывание модели процедуры может привести в конечном счете к представлению ее в «знаниях» РС в виде описания некоторой специализированной операции. Примером может служить навык поддержания тела на поверхности воды, который у достаточно опытного пловца является скорее отдельной операцией, чем их осознаваемой системой. Примером внутренней операции того же рода может служить навык быстрого счета в уме.

Промежуточный вариант свертки процедуры состоит в сокращении количества операций, ее составляющих, и, соответственно, в уменьшении подробности ее описания, хранящегося в знаниях РС

При свертывании процедуры возможны различные варианты саморефлексии или «осознания» решающей системой своего владения этой процедурой:

- 1) владение, которое включает в себя ее полное знание, т. е. наличие у РС полного пооперационного описания процедуры;
- 2) владение, которое не включает ее полного знания (имеется в виду наличие только свернутой модели процедуры с сохранением ее расчленения на операции, т. е. промежуточный вариант свертки);
- 3) владение, когда человек даже уже не осознает выполняемых операций, т. е. процедура превратилась в одну специфическую операцию, зафиксированную в «знаниях» РС, например, в виде одной команды или императива.

Как мы уже говорили (см. определения 2.9 и 2.10), частными видами процедур являются алгоритмическая и квазиалгоритмическая процедуры.

Знаковой моделью этих процедур в модальности «требование» являются соответственно алгоритм и квазиалгоритм (определение 2.11).

При решении задач субъектом возможны следующие варианты владения квазиалгоритмом их решения:

- 1) квазиалгоритм дан субъекту в виде внешней опоры, например в виде печатной инструкции, согласно которой субъект должен выполнять соответствующие операции;

- 2) субъект помнит квазиалгоритм (хранит его в своей памяти) и способен выполнить предусмотренные операции, осознавая факт выполнения каждой операции;
- 3) система операций, предусмотренных квазиалгоритмом, сформулирована на уровне навыка, т. е. субъект не осознает факт выполнения каждой операции.

2.2.5. Типы задач

Изложенный выше формализованный понятийный аппарат позволяет уточнить основные типы задач. Фрагменты общей классификации задач разрабатывались А.М. Довгялло совместно с Г. А. Баллом и В. И. Брановицким, а более глубокое исследование ряда типов задач было выполнено Г. А. Баллом.

А.М. Довгялло были проведены исследования, направленные на формализованное описание основных типов задач с использованием категорий, которые были введены ранее. Они показали, что исчерпывающая классификация задач, даже при использовании относительно небольшого числа базовых понятий, представляет собой специальную проблему, выходящую за рамки настоящей работы.

Поэтому мы выделим и опишем только те типы задач (а также подзадач, существенных для решения многих задач), решение которых будет в дальнейшем более подробно изучаться применительно к различным видам взаимодействия человека и компьютера.

Определение 2.19. Отнесенную задачу OZ_k назовем относительно разрешимой, если решающая система РС обладает средствами (по крайней мере процедурой $\Sigma_{k,i}$ или операторами $\{\sigma_i\}$ вместе с необходимыми знаниями, а также ресурсами — временем, памятью и т. п.), которые обеспечивают или могут обеспечить решение Z_k .

Задача, относительно разрешимая решающей системой РС, может быть относительно неразрешимой для другой РС_j, если последняя не располагает средствами и (или) ресурсами для ее решения.

Например, задача по какому-нибудь учебному предмету, как правило, относительно разрешима для преподавателя, преподающего этот предмет, и может быть относительно неразрешимой для обучающегося, который не усвоил необходимый для решения данной задачи раздел учебного материала.

Среди относительно неразрешимых задач выделяют принципиально неразрешимые и принципиально разрешимые.

Определение 2.20. Назовем задачу (отнесенную или неотнесенную) принципиально неразрешимой, если в соответствии, с закономерностями той области действительности, к которой относится задача, невозможно требуемое состояние предмета задачи, либо невозможно изменение актуального состояния предмета задачи в принципиально возможное $K_{тр}$. Принципиально неразрешима, например, задача построения вечного двигателя или задача оживления умершего человека после наступления необратимых изменений в его организме. Все задачи, не являющиеся принципиально неразрешимыми, являются принципиально разрешимыми.

Рассмотрим подразделение задач, неотнесенных и отнесенных, в зависимости от вида объект задачи K и ее требования $K_{тр}$.

Определение 2.21. Назовем Z_k материально-направленной задачей, если ее объект K включает объект $K_{внешн}$ ($K_{внешн} \subseteq K$), который является какой-то частью материального мира и не выступает в качестве модели, а требование $K_{тр}^*$ является моделью требуемого состояния объекта $K_{внешн}$, т. е. $K_{тр}^* = K_{внешн}^*$.

Таким образом, множество, определяющее материально-направленную задачу, имеет вид $\{\{K, K_{внешн} \subseteq K\}, K_{акт}, K_{внешн}^*\}$.

Определение 2.22. Назовем Z_k идеально-направленной задачей, если ее объект не включает $K_{внешн}$, т. е. является некоторой моделью, а требование есть модель требуемого состояния этой модели.

Множество, определяющее идеально-направленную задачу, имеет вид $\{K^*, K_{акт}^*, K_{тр}^*\}$.

Обратим внимание на существование идеально-направленных отнесенных задач, являющихся подзадачами материально-направленных задач. Таковы, например, задачи по нахождению модели процедуры Σ_k^* изменения материальных объектов, входящих в объект Z_k . С другой стороны, материально-направленные отнесенные задачи также могут являться подзадачами идеально-направленной задачи. Примером может служить разработка оборудования для решения задач теоретической физики.

Отнесенные идеально-направленные задачи будем разделять на теоретические и практические.

Определение 2.23. Назовем OZ_k теоретической задачей в том случае, если изменения K^* и $K_{акт}^*$ возможны только в результате воздействия той РС, к которой отнесена Z_k .

В практической идеально-направленной OZ_k модели K^* и $K_{акт}^*$ могут изменяться не только в результате воздействий РС, к которой отнесена Z_k , но и самопроизвольно, спонтанно либо под воздействием внешней среды.

Всякая материально-направленная задача является практической (внешняя среда может воздействовать на $K_{\text{внешн}} \subseteq K$ хотя бы в силу обязательности выполнения для $K_{\text{внешн}}$ всеобщих физических законов).

Выделим различные типы отнесенных задач в зависимости от особенностей решающей системы.

Определение 2.24. Будем называть отнесенную задачу OZ_k внутренней, если ее требование входит в состав РС, к которой отнесена Z_k .

Например, множество, которое определяет материально-направленную OZ_k , внутреннюю для РС_{*j*}, может иметь вид

$$\{\{K, K_{\text{внешн}} \subseteq K\}, K_{\text{акт}}, K_{\text{внешн},j}^* \subseteq PC_j, PC_j\}.$$

Определение 2.25. Назовем отнесенную задачу внешней, если ее требование не входит в состав РС, к которой отнесена данная задача.

Определение 2.26. Относительно разрешимую задачу OZ_k назовем рутинной (квазирутинной), если решающая система, к которой отнесена Z_k , располагает алгоритмом или квазиалгоритмом решения Z_k . При этом включается и операция или алгоритм (квазиалгоритм) установления принадлежности Z_k к классу задач, решаемых с помощью имеющегося у РС алгоритма (квазиалгоритма).

Определение 2.27. Отнесенную задачу OZ_k назовем нерутинной (проблемной), если решающая система, к которой отнесена Z_k , не располагает ни алгоритмом, ни квазиалгоритмом решения Z_k .

Рассмотрим, какие можно выделить типы идеально-направленных задач в зависимости от особенностей актуального состояния объекта задачи. Выделим случай, когда $K_{\text{акт}}$ представляет собой не отдельный объект или множество объектов (моделей), а систему моделей, т. е. $K_{\text{акт}}^* = \{\{k_{\text{акт}}^*\}, \{R_k\}\}$, где $\{k_{\text{акт}}^*\}$ — множество моделей компонент $K_{\text{акт}}^*$, а $\{R_k\}$ — множество отношений, заданных над компонентами $\{k_{\text{акт}}^*\}$.

Определение 2.28. Назовем задачей усовершенствования знаний (ЗУ) такую идеально-направленную задачу, у которой $K_{\text{акт}}^* = \{\{k_{\text{акт}}^*\}, R_{\text{ин}}\}$, где $R_{\text{ин}}$ — отношение над $\{k_{\text{акт}}^*\}$, содержащее область определения, указывающую на известные и неизвестные компоненты $\{k_{\text{акт}}^*\}$.

Требование ЗУ состоит в переводе всех или некоторых из неизвестных компонент $K_{\text{акт}}^*$ в известные, т. е. в переводе всех или некоторых из неизвестных моделей в такое состояние, когда полнота содержащейся в них информации оказывается достаточной.

Те неизвестные компоненты $K_{\text{акт}}^*$, к которым относится требование ЗУ, называют искомыми.

Примером ЗУ является задача, приведенная в примере п. 2.2.4. Отношение $R_{ин}$ («известно-неизвестно») определяет актуальное состояние этой задачи.

Рассмотрим теперь отнесенные задачи усовершенствования знаний.

Определение 2.29. Если объект отнесенной задачи усовершенствования знаний входит в состав решающей системы, к которой отнесена эта же задача, то такую задачу назовем **познавательной**.

Объектом познавательной задачи может быть любое подмножество модельных объектов, входящих в состав РС, в том числе множество моделей объектных областей U^* , множество моделей операций $\{\sigma^*\}$ и процедур $\{\Sigma^*\}$ и др.

Актуальное состояние объекта познавательной задачи, как и всякой задачи усовершенствования знаний, представляет собой систему указанных моделей, в которой отношение $R_{ин}$ указывает на известные и неизвестные модели. Такое $K_{акт}^*$ может быть результатом саморефлексии, направленной на уяснение решающей системой собственных знаний в связи с постановкой познавательной задачи.

Требование познавательной задачи отмечает, какие компоненты знаний должны быть переведены из неизвестных для данной РС в известные.

Если идеально-направленная нерутинная задача усовершенствования знаний отнесена к некоторому **обществу**, то такая ЗУ является **задачей научного исследования (ЗНИ)**.

Результатом решения ЗНИ являются как собственно **знания общества**, так и **технологии** — модели системы процедур, обеспечивающих целенаправленное изменение материальных и идеальных объектов.

Появление технологии в результате решения соответствующей ЗУ (или ЗНИ) еще не значит, что она может быть немедленно реализована: **необходима решающая система (или множество РС), обладающая набором операторов, составляющих технологию.**

Формирование недостающих операторов может идти как по пути создания соответствующих РС, так и по пути усовершенствования операционных возможностей существующих РС. В последнем случае мы имеем дело со специальным видом познавательных задач, объектом которых являются операции и (или) процедуры.

Частным видом задач усовершенствования знаний являются ЗУ, у которых $\{k^*_{акт}\} = \{A^*_{нач}, \Sigma^*_A, A^*_{кон}\}$, где $A^*_{нач}$ — модель начального состояния некоторого объекта; $A^*_{кон}$ — модель конечного состояния этого объекта; Σ^*_A — модель процедуры, обеспечивающей изменение $A^*_{нач} \rightarrow A^*_{кон}$. В зависимости от вида отношения $R_{ин}$ («известно-неизвестно»), входящего в $K^*_{акт}$, среди таких задач будем различать:

а) Задачи исполнения

$R_{ин}$	$\{k^*_{акт}\}$	полнота информации
	$A^*_{нач}$	известно
	Σ^*_A	известно
	$A^*_{кон}$	неизвестно

б) Задачи познания

$R_{ин}$	$\{k^*_{акт}\}$	полнота информации
	$A^*_{нач}$	неизвестно
	Σ^*_A	известно
	$A^*_{кон}$	известно

в) задача ввода данных или использования процедуры

$R_{ин}$	$\{k^*_{акт}\}$	полнота информации
	$A^*_{нач}$	неизвестно
	Σ^*_A	известно
	$A^*_{кон}$	неизвестно

г) задача преобразования или доказательства

$R_{ин}$	$\{k^*_{акт}\}$	полнота информации
	$A^*_{нач}$	известно
	Σ^*_A	неизвестно
	$A^*_{кон}$	известно

д) задачи конструирования

$R_{ин}$	$\{k^*_{акт}\}$	полнота информации
	$A^*_{нач}$	неизвестно
	Σ^*_A	неизвестно
	$A^*_{кон}$	известно

е) задачи прогнозирования

$R_{ин}$	$\{k^*_{акт}\}$	полнота информации
	$A^*_{нач}$	известно
	Σ^*_A	неизвестно
	$A^*_{кон}$	неизвестно

Названия выделенным типам задач даны в предположении, что требование каждой ЗУ относится ко всем неизвестным отношения $R_{ин}$.

Среди задач усовершенствования знаний будем выделять задачи с доступом и без доступа к внешней информации. Задачей без доступа к внешней информации назовем отнесенную задачу, если в процессе ее решения РС может использовать только модели, содержащиеся в самой этой системе и в решаемой задаче. Если это ограничение не выдерживается, то такую задачу будем называть задачей с доступом к внешней информации.

Дадим определения подзадачам, которые в принципе входят в процесс решения практически любой задачи. Речь идет о подзадачах контроля, разрешимости и нахождения модели процедуры решения; каждая из них может рассматриваться и как самостоятельная задача.

Определение 2.30. Подзадачей разрешимости для задачи Z_k назовем такую задачу ($Z\Sigma_k$), требование которой состоит в выяснении того, к какому типу разрешимых или неразрешимых задач (см. определения 2.19 и 2.20) относится Z_k .

Определение 2.31. Подзадачей нахождения способа решения задачи Z_k назовем такую задачу ($Z\Sigma_k$), требование которой состоит в нахождении модели Σ_k^* процедуры решения Z_k .

Важно отметить, что Σ_k не всегда выполняется той РС, которая решила $Z\Sigma_k$. Классический пример $Z\Sigma_k$ и Z_k такого рода — написание пользователем программы решения Z_k и выполнение этой программы на ЭВМ в режиме пакета.

Определение 2.32. Задачей контроля (ЗК) назовем множество $\{P_{ЗК}, P_{ЗК, акт} = \{A, ЭТ, M\}, T_{ЗК}\}$, где $P_{ЗК}$ — предмет задачи контроля; A — контролируемая система (объект); $ЭТ$ — эталонная система; M — некоторое отношение между A и $ЭТ$; в частности, M может быть отношением равенства, эквивалентности или толерантности между A и $ЭТ$; $T_{ЗК}$ — требование задачи контроля, выражаемое в общем виде вопросом «удовлетворяют ли A и $ЭТ$ некоторому отношению M ?» или императивом «доказать, что A и $ЭТ$ удовлетворяют некоторому отношению M ».

Если ЗК является подзадачей контроля правильности решения некоторой задачи Z_k , то в этом случае $P_{ЗК} = K$ — предмету Z_k ; $A = A_{тр}$, а $ЭТ$ может быть первоначальной, т. е. зафиксированной в формулировке Z_k , моделью $K^*_{тр,0}$. В этом случае процедура решения ZK_k включает формулирование решающей системой, к которой отнесена ZK_k , модели $K^*_{тр,кон}$ из полученного $K_{тр}$ (по возможности, без опоры на $K^*_{тр,0}$) и установление вида отношения между $A = K^*_{тр,кон}$ и $ЭТ = K^*_{тр,0}$. Как и все прочие задачи, ЗК может быть идеально- и материально-направленной, внешней и внутренней, рутинной (квази-рутинной) и нерутинной.

Определение 2.33. Если некоторая решающая система располагает информацией о том, решена или не решена задача Z_k , либо для этой РС подзадача контроля является рутинной (квазирутинной), то назовем задачу Z_k определенной (квазиопределенной); в противном случае назовем Z_k неопределенной задачей. РС, решающая нерутинную ЗК, должна сформулировать и осуществить процедуру доказательства того, что A и $Э$ удовлетворяют модельному отношению M .

Типы рассмотренных нами задач представлены на рис. 3.

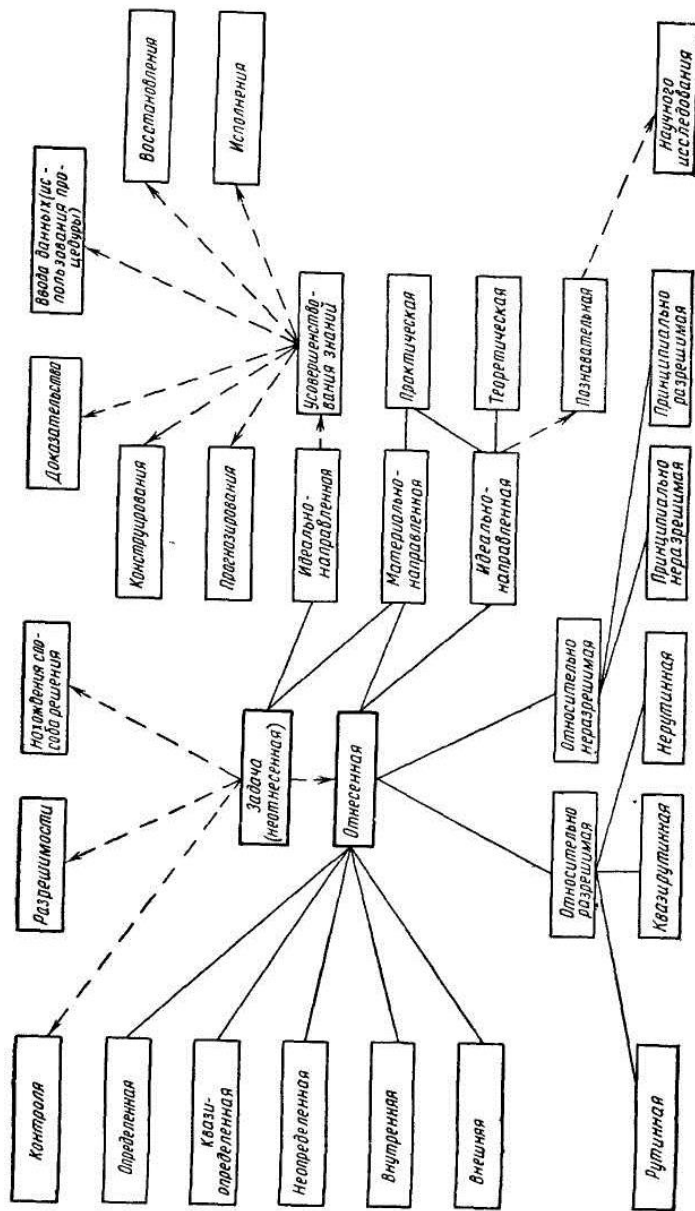


Рис. 3.

2.2.6. Язык описания формулировок задач, знаний решающих систем и базовых сообщений в процедурах их взаимодействия

Поскольку в соответствии с определением 2.14 формулировка задачи — это ее знаковая модель, то и U^* — подсистему знаний решающей системы, включающую модель объектной области задачи — будем также рассматривать как некоторую знаковую модель. Для того чтобы РС, к которой отнесена Z_k , могла эффективно оперировать с ΦZ_k и $K^* \subset U^*$, необходимо, чтобы эти модели были представлены на некотором внутреннем «срезе» РС на одном и том же языке.

Уточним теперь с помощью введенной терминологии определение взаимодействия субъекта (пользователя) и ЭВМ. **Взаимодействие между пользователем и ЭВМ** представляет собой процесс обмена сообщениями, который обуславливается необходимостью осуществления процедуры решения Z_k этими двумя решающими системами. Для понимания смысла некоторого принятого сообщения каждая из РС в принципе должна строить его внутреннее представление на том же языке, на котором представлены в этой системе модели ΦZ_k и U^* .

Итак, для эффективного внутреннего представления моделей ΦZ_k , U^* и смысла принятых сообщений как в искусственных, так и в естественных РС необходим некоторый **единый язык их формализации (ЯФ)**. Анализ работ по (внутреннему) представлению знаний под углом развиваемого здесь задачного подхода и с учетом последующей реализации указанных моделей на ЭВМ приводит к выводу, что в основу ЯФ может быть положен **язык прикладного исчисления предикатов**. При построении ЯФ будем также руководствоваться следующими соображениями:

- а) алфавит ЯФ должен содержать имена (обозначения) объектов и отношений, задающих знания РС U^* .
- б) требование задачи $(K^*_{\text{пр}})^*$, представленное на ЯФ, должно синтаксически отличаться от других компонентов формулировки Z_k ;
- в) ЯФ должен служить лишь целям представления и понимания смысла сообщений в рамках задачного подхода и не предназначаться для прямого перевода на него фраз естественного языка. Однако, как и в случае **информационно-логического языка (ИЛЯ)**, наиболее близкого к ЯФ по своей методической роли и выразительности,

предложения на ЯФ должны соотноситься по своей структуре с предложениями естественного (русского) языка.

Наиболее критическим моментом при построении ЯФ является степень его приближения к естественному языку. Здесь надо учитывать следующие обстоятельства. Требования к языку обмена сообщениями зачастую противоречивы. Например, при взаимодействии с ЭВМ пользователи высокой квалификации на первое место ставят лаконичность и мощность входного языка машины в ущерб близости к естественному разговорному языку. Для неподготовленных пользователей первостепенным является обмен сообщениями на языке, близком к естественному. Однако в естественном языке по внешнему виду предложений зачастую бывает трудно однозначно распознать утверждения, вопросы и императивы; определить, какой объект «поставлен под вопрос» или «под императив»; вывести утверждение, являющееся ответом на вопрос или результатом выполнения императива. **Для эффективного решения этих задач необходимо ввести соответствующий формализованный язык.**

Представление знаний искусственного интеллекта в виде отношений является, по-видимому, хорошим компромиссом между естественностью и строгостью входного языка. Действительно, при взаимодействии с искусственным интеллектом пользователь зачастую представляет себе **знания искусственного интеллекта как систему изменяющихся во времени нормализованных отношений различной степени.** Изменения подразумевают вставки, замены и коррекции строк отношения; за такими изменениями легко следить как в «уме», так и на бумаге, представляя соответствующие отношения в виде всевозможных таблиц с разным заполнением.

В языке формализации, как и в естественном, будем выделять:

- 1) повествовательные предложения или утверждения, высказывания, информативы (П);
- 2) вопросительные предложения или вопросы (В);
- 3) повелительные предложения или императивы (И).

Известны **три основные группы языков формализации** этих предложений: **исчисление предикатов первого порядка и теории отношений для представления информатив, эротетическая логика для описания вопросов и деонтическая логика для описания императивов.**

А. М. Довгялло предложен язык для формализации всех трех видов предложений. Впервые попытка построить такой язык была предпринята А. М. Довгялло совместно с Б. А. Платоновым в 1973 г., когда были сформулированы (раздельно!) три основные подмножества

ЯФ — язык повествовательных предложений, язык вопросов и язык повелительных предложений.

Алфавит языка формализации можно представить в следующем виде.

1. $A, B, A_1 \dots$ — названия или имена индивидуальных (константных) объектов или их состояний $A, B, A_1 \dots$. В качестве названий объектов будем также использовать слова и словосочетания русского языка, представленные строчными буквами (это облегчает перевод элементарных сообщений с естественного языка на ЯФ и наоборот).
2. x_1, x_2, \dots — объектные переменные. Значениями этих переменных являются имена индивидуальных объектов из некоторого множества объектов. Если A_1, A_2, \dots — объекты некоторой объектной области, то значение x — любой элемент множества A .
3. R_1, R_2, \dots — названия конкретных отношений или свойств. В качестве названия отношений или свойств будем также использовать слова и словосочетания русского языка, представленные прописными буквами.
4. X_1, X_2, \dots — названия переменных отношений. Значением каждой из этих переменных может быть конкретное свойство или отношение из некоторого множества отношений или свойств.
5. z_1, z_2, z_3, \dots — названия переменных для высказываний, имеющих одно из двух значений: «истина» и «ложь».
6. $\neg, \&, \vee, \supset$ — логические операторы, имеющие соответственно значения «НЕ», «И», «ИЛИ», «ЕСЛИ ..., ТО».
7. \forall — квантор общности, читаемый как слова «все», «всякий».
8. \exists — квантор существования. Имеет то же значение, что и слово «существует» или слово «некоторый».
9. Символ «?» — оператор вопроса. Он «ставит под вопрос» перечисленные в п. 1—8 переменные или постоянные объекты. Обычно знак вопроса ставится в конце предложения, поэтому только лишь по смыслу предложения можно догадаться, к какому члену предложения он относится. При формализованном задании вопросов на описываемом здесь языке объект под вопросом указывается непосредственно за символом «?».
10. Символ «!» — оператор императива. Он «ставит под императив» некоторое отношение (или предикат) действия. Содержательно оператор императива интерпретируется как словосочетание: «Проделать действие...», где следующий после «!» символ — имя операции или процедуры, которую надлежит выполнить.

Формулы в ЯФ определяются следующими правилами.

1. Символы z_1, z_2, z_3, \dots являются формулами. Этими символами мы обозначаем повествовательные предложения, имеющие одно из двух значений: «истина» или «ложь».

2. Если f обозначает n -местное отношение (n -местный предикат), постоянное (R) или переменное (X), а (k_1, k_2, \dots, k_n) есть подпредикатное выражение, являющееся кортежем объектных постоянных A, B, C, \dots или переменных x_1, x_2, \dots , то $f(k_1, \dots, k_n)$ — формула.

3. Если $f(x)$ — формула, содержащая объектную переменную x , то $\forall x f(x)$ и $\exists x f(x)$ — формулы.

4. Если f_1 и f_2 — формулы, то
 $\neg f_1, f_1 \& f_2, f_1 \vee f_2, f_1 \supset f_2$

формулы.

5. Если $f(y)$ — формула, не содержащая символа «?», и y — имя объекта, имя отношения, переменная или квантор, то $(?y)f(y)$ — формула, называемая вопросом. Наличие в формуле $(?y)f(y)$ символа «?» рядом с символом y означает, что компонента y формулы $f(y)$ «поставлена под вопрос».

Пример.

1. «Какой город является столицей Украины?» $(?x) R(x, A)$, где R — отношение «быть столицей»: R ГОРОД | СТРАНА, x — переменный объект из области значений ГОРОД; A — Украина.

2. «Все ли предметы из области значений D_1 обладают свойством R_1 ?» $(? \forall) \forall x_1 R_1(x_1)$

6. Если $f(y)$ — формула, не содержащая символа «!», и y — имя объекта или отношения, переменного или постоянного, то $(!y)f(y)$ — формула, называемая императивом. Наличие в императиве символа y рядом с символом «!» означает, что компонента y формулы $f(y)$ поставлена под императив.

Пример. Императив I_1 : «Сложить A и B ».

I_1 на ЯФ₁: $(!x_1)$ СЛОЖИТЬ (x_1, A, B) , где x_1 — значение переменной из области определения СУММА отношения

СЛОЖИТЬ	СУММА	первое	второе
		слагаемое	слагаемое

Этот пример иллюстрирует императив получения объекта.

Императив получения отношения X_1 может быть представлен формулой $(!X_1)f(X_1)$.

Пример. Императив I_2 : «Получить формулу X_1 объема V_A правильной четырехугольной усеченной пирамиды A , если даны ее высота h , сторона a верхнего основания и сторона b нижнего основания».

I_2 на ЯФ₁: $(!X_1)X_1(V_A, A, h, a, b)$.

Рассмотрим основные типы вопросов.

Формулы $(?y)f(y)$ и $(?y)\neg f(y)$ — простые вопросы, если $f(y)$ не содержат операторов $\&$, \vee , \supset , $?$.

Если y в формуле $(?y)f(y)$ — постоянный объект или отношение, то $(?y)f(y)$ — прямой вопрос.

Если y в формуле $(?y)f(y)$ — переменная, то $(?y)f(y)$ — косвенный или непрямой вопрос.

Вопросы типа «сколько...», «почему...», «когда...», «как...» могут быть перефразированы в вопросы «какое количество...», «какая причина...», «в какой момент времени...», «каким образом...», и далее они легко представляются на ЯФ₁ как косвенные вопросы.

Если после приема вопроса V_i реципиент становится информатором и выдает сообщение типа P_j (информатива, высказывание), то сообщение P_j является ответом на вопрос V_i .

Правильным ответом на прямой вопрос $(?y)f(y)$ будем считать высказывание $f(y)$ (ответ типа «да») или высказывание $\neg f(y)$ (ответ типа «нет»).

Получение правильного ответа на вопрос — операция не чисто формальная, поскольку, давая ответ, решающая система должна сформировать высказывание $f(y)$ таким, чтобы его логическое значение стало истинным, в частности, находящимся в некотором отношении со знаниями «отвечающей» решающей системы (например, $f(y)$ входит в знания этой РС).

Если высказывания $f(y)$ или $\neg f(y)$ не входят в знания отвечающего (либо не могут быть им получены) и отвечающий осознает этот факт, то он обычно сообщает об этом в ответе типа «не знаю».

Все другие ответы на прямые вопросы, не являющиеся правильными или ответами типа «не знаю», назовем неправильными.

Правильным ответом на косвенный вопрос $(?y)f(y)$ будем считать либо высказывание $f(A)$ или $f(R)$, образовавшееся из $(?y)f(y)$ после отбрасывания компоненты под вопросом и замены в оставшемся выражении переменных y на постоянные A и R из области значений y , либо высказывание $\neg \exists y f(y)$ — «не существует y такое, что...».

Как и в случае прямого вопроса, получение правильного ответа решающей системы на косвенный вопрос не является чисто формальным преобразованием, а основывается на знаниях РС области

определения переменной y . Помимо указанных ответов на косвенный вопрос может быть неопределенный ответ типа «не знаю». Все другие ответы на косвенный вопрос, не являющиеся правильными или неопределенными, будем называть неправильными.

Введенный ЯФ позволяет уточнить и интуитивные представления о правильности вопросов.

Изложим правила, по которым можно определить, является ли данный вопрос правильным и, соответственно, может ли в принципе быть получен на него правильный ответ.

Правило 1. Простой вопрос $(?y) f(y)$ является правильным тогда и только тогда, когда в выражении $f(y)$ объекты, обозначаемые символом y , существуют, если y — постоянная, либо область значений y не пуста, если y — символ переменной.

Правило 2. Простой вопрос $(?y)f(y)$ является правильным тогда и только тогда, когда в выражении $f(y)$ не встречаются одновременно свободные предикатные переменные и свободные предметные переменные.

Правило 3. Простой вопрос $(?y) f(y)$ является правильным тогда и только тогда, когда разница между количеством свободных переменных, содержащихся в $f(y)$, и количеством переменных в компоненте под вопросом равна нулю.

Сложные вопросы образуются из простых вопросов или из вопросов и формул типа 1, 2 и 3 с помощью символов $\&$, \forall и \supset . Правила определения правильности сложных вопросов на ЯФ₁ такие же, как и для сложных вопросов в языке L_q или в эротетическом языке.

Рассмотрим основные типы императивов.

Формулы $(!y) f(y)$ и $(!y) \neg f(y)$ — простые императивы, если $f(y)$ не содержит операторов $!$, $\&$, \forall , \supset .

Если простая формула $(!y) f(y)$ не содержит переменных компонент, то эту формулу назовем императивом подтверждения.

Если простая формула $(!y)f(y)$ содержит переменные объекты или отношения, то такую формулу назовем императивом получения (нахождения).

Если после приема императива I_i реципиент становится информатором и выдает сообщение типа Π_j (информатива, высказывания), то сообщение Π_j назовем отчетом о выполнении императива.

Для идеально-направленных задач, у которых объект задачи является знаковой моделью, отчет о выполнении обычно включает и результат решения.

Правила 1—3 определения формальной правильности простых вопросов полностью применимы и для простых императивов.

Рассмотрим более подробно особенности императивов, основываясь на модели решающей системы.

Если реципиентом императива является решающая система, то компонентом под императивом есть элемент множества операторов $\{\sigma\}$ (процедур $\{\Sigma\}$) реципиента либо объекты, получаемые в результате выполнения σ или Σ .

Пусть $(! \Sigma) \Sigma (A_1, \dots, A_n)$ — простой императив подтверждения. Тогда правильным отчетом о выполнении императива подтверждения является высказывание $\Sigma (A_1, \dots, A_n)$ или $\neg \Sigma (A_1, \dots, \bar{A}_n)$, получившееся из формулы $(! \Sigma) \Sigma (A_1, \dots, A_n)$ после отбрасывания компоненты под императивом.

Пример. Императив «Включить устройство A_1 » на ЯФ₁ представляется формулой: (ВКЛЮЧЕНО) ВКЛЮЧЕНО (A_1). Отчет о выполнении включения выражается высказыванием ВКЛЮЧЕНО (A_1) — «устройство включено» — или \neg ВКЛЮЧЕНО (A_1).

Истинность высказываний $\Sigma (A_1, \dots, A_n)$ и $\neg \Sigma (A_1, \dots, A_n)$ устанавливается по тому объекту или состоянию объекта, которые явились результатом выполнения операции или процедуры Σ .

Легко увидеть аналогию между правильными отчетами о выполнении императива подтверждения $(\Sigma (A_1, \dots, A_n)$ — «СДЕЛАНО», $\neg \Sigma (A_1, \dots, A_n)$ — «НЕ СДЕЛАНО») и правильными ответами на прямой вопрос («ДА», «НЕТ»). Однако в отличие от прямых вопросов императивы подтверждения не ограничиваются отчетом («СДЕЛАНО», «НЕ СДЕЛАНО») о состоянии знаний РС, но и подразумевают осуществление соответствующих операций или процедур. В этом смысле показательным является сопоставление прямого вопроса с императивом подтверждения, требующим доказать, что некоторые объекты находятся в определенном отношении.

Пример.

И₁: «Доказать, что A и B находятся в отношении» И₁ на

В₁: «Находятся ли A и B в отношении R ?»

ЯФ: $(!R)R(A, B)$

$$\begin{array}{l}
 \text{П}_1 \left\{ \begin{array}{l}
 \text{а) СДЕЛАНО, } R(A, B) \\
 \text{б) } A \xrightarrow{\Sigma} B, \text{ причем } \Sigma(A, B) \\
 \text{эквивалентно } R(A, B)
 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l}
 \text{В}_1 \text{ на ЯФ: } (?R)R(A, B) \\
 \text{П}_1: DA, R(A, B)
 \end{array}
 \end{array}$$

В этом примере основным результатом выполнения императива И₁ является получение процедуры Σ — доказательства того, что A и B находятся в отношении R . При этом операторы, задающие процедуру Σ , должны входить в состав системы реципиента императива И₁. Только в этом случае императив И₁ может рассматриваться как правильно выполненный.

Таким образом, при прочих равных условиях обработка императива подтверждения для реципиента — более сложная задача, чем ответ на эквивалентный этому императиву прямой вопрос. Этот вывод подкрепляют также результаты анализа протоколов решения задач.

Пусть $(!x_1)\sigma(x_1, A_2, \dots, A_n)$ — простой императив получения. Тогда правильным отчетом о выполнении этого императива являются:

- 1) высказывание $\sigma(A_1, A_2, \dots, A_n)$, образованное из формулы $(!x_1)\sigma(x_1, A_2, \dots, A_n)$ путем отбрасывания компоненты под императивом и замены в оставшемся выражении переменной x_1 на постоянную A_1 , являющуюся результатом выполнения операции σ ;
- 2) высказывание $\neg \exists x_1 \sigma(x_1, A_2, \dots, A_n)$ — «не существует такое x_1 , которое нужно было получить в результате операции σ ».

Истинность высказываний $\sigma(A_1, A_2, \dots, A_n)$ и $\neg \exists x_1 \sigma(x_1, \dots, A_n)$ устанавливается по наличию или отсутствию «нового» объекта A_1 .

Несмотря на внешнюю аналогию между правильными отчетами о выполнении императива получения и правильными ответами на косвенный вопрос, в отличие от косвенных вопросов, подразумевающих, вообще говоря, выбор среди множества имеющихся объектов, императивы получения направлены на расширение этого множества за счет конструирования, формирования нового объекта. При прочих равных условиях вторая операция труднее первой, поэтому в протоколах решения задач часто можно усмотреть замену императива получения на эквивалентный косвенный вопрос. Так, например, шаг протокола решения задачи на получение формулы объема усеченной пирамиды, по существу подразумевает замену императива «Получить формулу объема V_A усеченной пирамиды A , для которой известны высоты n , сторона верхнего основания a и сторона нижнего основания b » — $(!X_1)X_1(V_A, A, a, b, n)$ — на косвенный вопрос «Какая формула из области значений ФОРМУЛЫ ОБЪЕМА является формулой объема пирамиды A ?» — $(?X_1)X_1(V_A, A, a, b, n)$. Таким образом, потенциальная выполнимость императива получения устанавливается по наличию у РС-реципиента операторов (или процедур), необходимых для формирования объекта, имя которого находится под императивом.

2.2.7. Основные операторы решающей системы

Следующие шаги в детализации компонентов и подсистем решающей системы будут направлены на: 1) определение тезауруса РС; 2) описание основных операторов автономной решающей системы.

Как всякая целенаправленная (при решении Z_k целью решающей системы является требование задачи $(K^*_{\text{тр}})$) система для решения Z_k РС_{*j*} должна:

- 1) формировать адекватный текущий образ внешней среды, т. е. $K^*_{\text{акт},j}$;
- 2) обладать **априорной информацией (знаниями)** о внешней среде, в частности, располагать моделью объектной области K^*_{j} ;
- 3) обладать информацией о самой себе, о своих свойствах и возможностях, т. е. располагать моделью $(PC_j)^*$.

Определение 2.34. Знаниями РС_{*j*} назовем подсистему $U_j^* = \{\{u^*\}, \{R_u\}\}$, где $\{u^*\}$ — множество знаковых моделей (понятий, определений и т. п.), а $\{R_u\}$ — множество отношений над $\{u^*\}$.

Для решения Z_k знания РС_{*j*} должны включать некоторую модель K^*_{j} объекта задачи (объектной области) K или K^* , т. е. $K^*_{j} \subset U_j^*$.

Определение 2.35. Тезаурусом решающей системы назовем такую ее подсистему $PC^*_{\text{тj}}$, компоненты которой являются **моделями знаний и умений РС_{*j*}**.

Компонентами тезауруса являются модели операций μ^* и ν^* , хранящиеся в долговременной памяти РС, отношения типа $R_{\text{ин}}$ (известно—неизвестно) и др.

Классификация операторов и процедур РС. Необходимость осуществлять целенаправленное изменение $K_{\text{акт}}$ в $K_{\text{тр}}$ на основе изменения сложных внутренних операндов типа K^*_{j} , $\{\sigma^*_{j}\}$, $\{K^*_{\text{акт},j}\}$, введенных в п. 2.2.4, требует дальнейшей дифференциации $\{\sigma\}$ и $\{\Sigma\}$. В связи с этим будем выделять: операции ω и процедуры Ω , обеспечивающие непосредственное изменение $K_{\text{акт}}$ в $K_{\text{тр}}$ или $K^*_{\text{акт}}$ в $K^*_{\text{тр}}$ при решении идеально-направленных задач; операции ν и процедуры Θ , обеспечивающие формирование процедур Ω_k решения Z_k либо применение определенных операторов первой группы ω , «в нужном месте» процесса решения Z_k .

Примерами операторов первого рода являются:

- 1) операторы процедурных языков программирования (языков высокого уровня);
- 2) арифметические и алгебраические операторы, которыми владеет человек;
- 3) внешние операторы манипулирования материальными объектами (операторы ДВИГАТЬСЯ, СХВАТИТЬ, ОТПУСТИТЬ, ПОСТАВИТЬ, ПОДНЯТЬ и т. п., выполняемые людьми и системами искусственного интеллекта - роботами);
- 4) внутренние операторы реляционной алгебры, операндами которых являются отношения; к таким операторам относятся ОБЪЕДИНЕНИЕ,

РАЗДЕЛЕНИЕ, ПРОЕКЦИЯ (РЕДАКТИРОВАНИЕ), УПОРЯДОЧЕНИЕ, ДОБАВЛЕНИЕ, УДАЛЕНИЕ, ЗАМЕНА и др.

Процедуры, описывающие процессы решения задач, как правило, составляют из операторов первого рода. Только специальные методы познания и наблюдения позволяют выявить в естественных решающих системах «над» операторами и процедурами первого рода операторы и процедуры второго рода, которые формируют первые и управляют ими.

Рассмотрим прежде всего множество внутренних операторов второго рода, характерных в первую очередь для решения теоретических идеально-направленных нерутинных задач.

Предлагаемый здесь набор операторов $\{v\}$ абстрагирован от какой-либо содержательной объектной области (в том числе и от типа операторов первого рода $\{\omega\}$) и является в значительной мере универсальным, т. е. свободным от «профессиональной ориентации» решающей системы. Это позволяет анализировать с единых позиций процессы решения задач познания системами искусственного интеллекта, а также в определенной степени стандартизировать описание того материала по обобщенным описаниям процессов решения задач познания, который накоплен психологией мышления.

Выделим следующие внутренние операторы второго рода:

- 1) оператор α , обеспечивающий изменение, в том числе образование, первичное формирование в РС модели требуемого состояния объекта задачи;
- 2) оператор β , обеспечивающий изменение, в том числе образование в РС, модели актуального состояния объекта задачи;
- 3) оператор γ , обеспечивающий установление отношений или их моделей над находящимися в памяти РС компонентами $K_{\text{тр},j}^*$, с одной стороны, и компонентами U_j^* , K_j^* и $K_{\text{акт},j}^*$ — с другой; (частным видом этих отношений могут быть связи: «...умственная работа решающего предстает перед нами как воскрешение относящихся к делу элементов его опыта, как связь этого опыта с решаемой задачей, как мобилизационная и организационная работа»);
- 4) оператор оценки и принятия решения \varkappa , обеспечивающий переход решающей системы к одному из имеющихся у нее операторов $\{\sigma\}$, к одной из процедур $\{\Sigma\}$ либо к одной из их моделей; (термину «принятие решения» соответствуют также термины «выбор эвристики или эвристической процедуры», «выбор дальнейшего пути», «выбор стратегии решения» и др. Принятие решения человеком зачастую протекает в свернутом виде, так что интерпретация оператора \varkappa на материале протоколов решения задач человеком во многих случаях

затруднена. В частности, Ю. Н. Кулюткин пишет по этому поводу: «Человек, ищущий решение, обычно не осознает, что он делает выбор из множества возможных вариантов. **Главное для него не выбрать, а построить решение.** Однако объективно такое множество возможных ходов — правильных и неправильных — всегда существует...»;

5) оператор планирования η , обеспечивающий формирование или извлечение из памяти РС плана решения P_k , который представляет собой обобщенную императивную модель процедуры решения задачи;

6) оператор программирования ξ (программирование, вслед за Д. Пойя, будем понимать в широком смысле этого слова), обеспечивающий извлечение из памяти РС моделей операции или процедуры первого рода, т. е. ω_k или Ω_k , выполняющей непосредственное изменение $K_{\text{акт}}$ в $K_{\text{тр}}$ или $K_{\text{акт}}^*$ в $K_{\text{тр}}^*$ и подстановку этих моделей вместо компонентов плана P_k . Языковым представлением программы Ω_k^* является только язык операторов и процедур первого рода (в отличие от плана P_k , который может описываться и в терминах $\{\Theta\}$, $\{\Phi\}$, подзадач задачи Z_k и др.).

Пример. Рассмотрим работу решающей системы, в роли которой выступает группа по тушению пожара на некотором объекте. Требуемым состоянием объектной области является потушенный объект. Лицо, ответственное за принятие решений по ликвидации пожара, именуемое далее РС₁, получает информацию о возникновении пожара на объекте и положении вещей там в это время, т. е. о $K_{\text{акт}}$, решает свою подзадачу ПЗ_{k₁}, заключающуюся в выработке модели процедуры Ω_k^* тушения пожара на объекте и передает эту информацию в виде предписания спасательным группам, обладающим операторами $\{\omega_1, \dots, \omega_n\}$ и средствами тушения пожаров.

Принятие задачи решающей системой РС₁ заключается в создании своих моделей $K_{\text{акт},1}^*$ и $K_{\text{тр},1}^*$ с помощью соответственно операций второго рода β_1 и α_1 . Затем после «увязки» $K_{\text{тр},1}^*$ и $K_{\text{акт},1}^*$ с помощью операции второго рода γ_1 она пытается найти готовую модель процедуры Ω_k^* в своих знаниях либо в справочных материалах. Если это ей не удастся сделать, то РС₁ пробует разыскать рекомендации или план P_k решения задачи Z_k , чтобы облегчить себе построение модели процедуры Ω_k^* из моделей $\{\omega^*_1, \dots, \omega^*_n\}$.

Если готовый план не обнаружен, то РС₁ разрабатывает такой план с использованием операции η_1 , причем вначале она пытается переформулировать аналогичный план, либо извлечь частный план из более общего. В случае неудачи «работают» операции: γ_1 ,

подготавливающая формат «базового» отношения между $K_{тр,1}^*$ и $K_{акт,1}^*$, и \mathcal{M}_1 , выбирающая общую стратегию планирования решения Z_k и т. д.

Общая схема РС с тезаурусом и операторами второго рода дана на рис. 4.

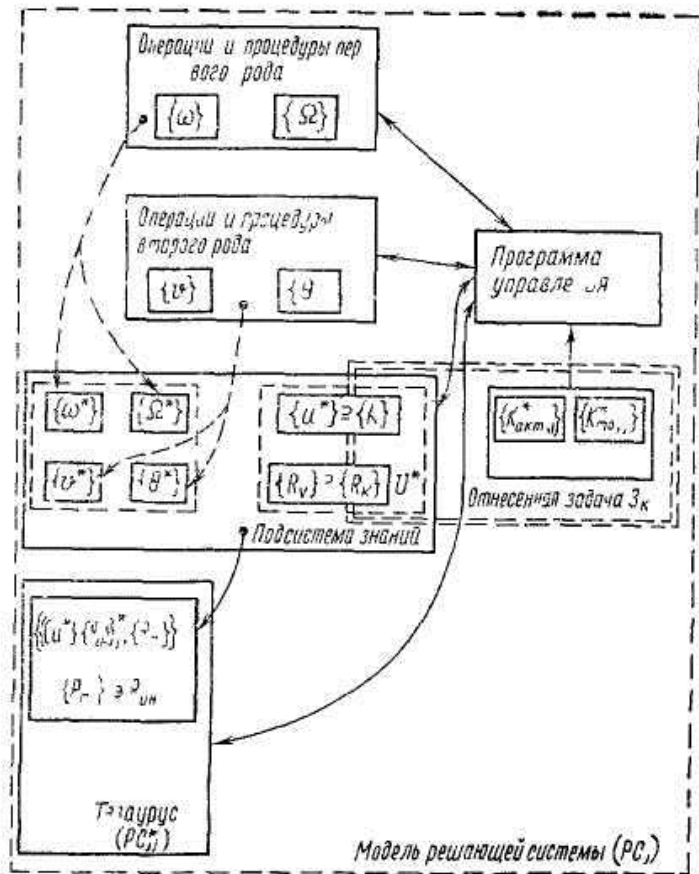


Рис. 4.

Дадим более подробное описание каждого из операторов второго рода.

Оператор α изменения модели требуемого состояния предмета задачи. Первая реализация оператора α обеспечивает ОБРАЗОВАНИЕ

модели $K_{тр,1}^*$ из **целей и тезауруса**, в частности, образование $K_{тр,1}^*$ из тезауруса решающих систем основывается на выделении из отношений типа $R_{ин}$ (ИЗВЕСТНО — НЕИЗВЕСТНО) строк или строки, имеющих в области определения ПОЛНОТА ИНФОРМАЦИИ величину НЕИЗВЕСТНО, решающей системы, а также из формулировки задачи, переданной решающей системе извне. Образование $K_{тр,1}^*$ из такой ФЗ представляет собой также изменение внешней задачи во внутреннюю (см. определения 2.24, 2.25).

Образование модели $K_{тр,1}^*$ из ФЗ_к с учетом необходимости кодирования внешней ФЗ_к (оператор ν) можно представить следующим образом: $K_{тр,1}^* = \alpha_1(\nu(\Phi_{З_k}))$.

Если $K_{тр}^*$, K^* и $K_{акт}^*$ хранятся в решающей системе в форме множеств или отношений, очередная операция α_i обеспечивает СУЖЕНИЕ, РАСШИРЕНИЕ и ПЕРЕОПРЕДЕЛЕНИЕ $K_{тр,t-1}^*$. В последнем случае первоначальная задача заменяется родственной ей задачей, причем такой, для которой у РС_г предположительно имеется больше средств решения, чем для первоначальной задачи.

Оператор β изменения модели актуального состояния предмета задачи. Первая реализация оператора β обеспечивает ОБРАЗОВАНИЕ модели $K_{акт,1}^*$ из: формулировки задачи; знаний U^* ; генерируемой информации; объектов внешнего мира (в этом случае в $K_{акт}^*$ включаются объективные знания K_0 , частью которых являются знания РС_г, $K_j^* \subset K_0$. Вторым вариантом применения β является построение $K_{акт}^*$ из оригинала (моделируемого с помощью β).

Последующие реализации β обеспечивают СУЖЕНИЕ, РАСШИРЕНИЕ (расширение $K_{акт}^*$ зачастую происходит за счет моделей, извлекаемых из знаний U^* , j -й системы, из ее тезауруса, из объектной области (объекта задачи) K и др.) или ПЕРЕОПРЕДЕЛЕНИЕ $K_{акт}^*$. В последнем случае один и тот же компонент $K_{акт}^*$ выступает в разных отношениях (связях) с другими объектами, привлекаемыми РС для решения задачи.

Заключительная реализация оператора β обычно имеет место в случае успешного решения подзадачи контроля (см. определение 2.32), когда установлено, что результат решения Z_k , $K_{тр}$ соответствует его первоначальной модели $K_{тр,1}^*$. При этом $K_{тр}$ входит в заключительное актуальное состояние предмета Z_k , являющееся операндом операции β .

Оператор формирования отношений (γ). Как мы уже говорили, оператор γ обеспечивает формирование отношений R или моделей этих отношений L^* над компонентами $K_{тр,j}^*$, с одной стороны, и компонентами $K_{акт,j}^*$, $U_j^* \supset K_j^*$, а также компонентами тезауруса

PC_j — с другой стороны. Частным видом отношений L могут быть связи.

Отметим основные особенности отношения типа «связь». Будем считать, что два или более различных объекта связаны, если по наличию или отсутствию некоторых свойств (унарных отношений) у одних из них можно судить о наличии или отсутствии тех или иных свойств у других из них (возникновение и исчезновение объектов можно рассматривать как частный случай).

Примерами связей могут служить функциональные и стохастические зависимости, механические сопряжения между телами, причинно-следственные зависимости, логические следования, вывод одних знаний из других и т. д.

Выявление связей позволяет познавать (выводить, находить) объекты не непосредственно, а косвенно, через другие объекты, находящиеся с ними в той или иной связи.

В отношениях L компоненты $K_{тр}^*$ являются ключевыми. Зачастую результатом операции γ является формирование только «шапки», т. е. модели L^* отношения L .

Таким образом, операторы α и β формируют множества объектов, над которыми оператор γ задает отношение L или модель этого отношения L^* . В первом случае определяется предполагаемый вид зависимости между искомым и данными, во втором — указывается на факт существования этой зависимости.

Определение 2.36. Задачной системой (ЗС) назовем такую задачу, которая рассматривается исследователем вместе с отношением (отношениями) L (или L^*), заданным над компонентами K , $K_{акт}$ и $K_{тр}^*$ и (или) моделями этих компонент.

Частным видом ЗС является функция различия между $K_{тр}^*$ и $K_{акт}^*$, нередко используемая в работах по автоматическому решению задач. В общем виде эту функцию можно представить следующим отношением:

РАЗЛИЧИЕ	вид различия	компоненты $K_{тр}^*$	компоненты $K_{акт}^*$

Оператор κ оценки и принятия решения. На основе оценки сложившейся на t -ом шаге ситуации, которая описывается множествами $\{ЗС_t\}$, $K_{тр,t}^*$ и $K_{акт,t}^*$, $t = \bar{1}, \dots$, оператор κ производит выбор среди возможных альтернатив и формирует императив $I_{i,k}$, наиболее обобщенную модель процедуры решения Z_k («идею» решения задачи).

Приведем примеры императивов И в обобщенном виде: $I_{\text{поиск}}$ — найти (отыскать) в памяти готовый результат или алгоритм (квазиалгоритм) получения результата; $I_{\text{пз}}$ — свести (сузить) задачу к подзадаче; $I_{\text{расш}}$ — расширить задачу Z до задачи Z' так, чтобы Z явилась подзадачей Z' ; $I_{\text{пф}}$ — переформулировать задачу Z в аналогичную, «родственную» задаче Z , притом такую, для которой у решающей системы имеется (во всяком случае, предположительно) больше средств решения, чем у задачи Z .

Поскольку принятие решения зачастую трудно отделить от получения оценки λ_i ситуации $(K^*_{\text{арт}}, t, K^*_{\text{тр}}, t, Lt)$, то будем считать, что оператор \mathbf{x} вырабатывает абсолютные и относительные оценки, на основе которых производится управление порядком выполнения операторов $\{\theta\}$, «включение» процедуры Ω_k решения Z_k , прекращение решения Z_k в результате успешного решения подзадачи контроля ZK_k и др.

Получение оценок может рассматриваться также как отдельная подзадача, прежде всего, если: недостаточно данных в самой РС; РС не располагает планом и (или) программой оценки; для формирования оценки необходимо совершить «пробные действия», т. е. реализовать частичный план и частичную программу решения Z_k , чтобы «посмотреть, что из этого получается».

В связи с тем, что поиск информации в памяти РС или во внешнем мире является существенной подзадачей многих задач, рассмотрим более подробно обработку решающей системой императива поиска $I_{\text{поиск}}$. Здесь возможны следующие варианты:

- а) РС располагает процедурой поиска;
- б) РС не располагает процедурой поиска, но имеет программу или план поиска;
- в) у РС нет ни плана, ни программы поиска.

Если РС — это система искусственного интеллекта, то первый вариант поиска соответствует случаю, когда система искусственного интеллекта располагает соответствующей рабочей программой поиска (абсолютной фазой), готовой к выполнению. Если же речь идет о человеке, вспоминающем необходимые данные, то в первом случае у него отработка императива $I_{\text{поиск}}$ также зачастую протекает в свернутом виде: операции первого рода, составляющие процедуру поиска, выполняются слитно, подсознательно.

В случае варианта в) целесообразно специально рассматривать подзадачу поиска. В рамках нашей модели РС формулировкой подзадачи поиска является косвенный вопрос (см. п.2.2.6), т. е. вопрос типа «Какой объект...», «Какое отношение...».

Решение этой подзадачи в свою очередь начинается с операторов α , β , γ и т. д. Подзадача поиска приобретает еще более ярко выраженную самостоятельность в случае необходимости произвести поиск не в памяти РС, а во внешней среде.

Оператор планирования η . Оператор η производит изменение декларативного представления знаний РС по задаче $Z_k (ZC_k, K^*_{\text{тв}}, K^*_{\text{акт}})$ в императивное (процедурное) представление, т. е. в план P_k решения Z_k . План P_k представляет собой обобщенную модель процедуры решения задачи. Компонентами плана могут быть императивные модели разных по своей природе объектов — операций первого рода, операций второго рода, формулировки подзадач и др.

План развертывается, т. е. «накапливается» и уточняется решающей системой пошагово, так что компонент плана P_i произведенный на t -м шаге, добавляется к P_{t-1} либо заменяет в P_{t-1} некоторую компоненту, образуя P_t . Если РС не располагает готовым планом решения Z_k , то, как правило, среди операндов первой по счету операции η нет плана или его компонентов.

Оператор программирования ξ . Программирование плана P_k будем рассматривать как операцию, осуществляющую подстановку моделей операций или процедур первого рода (из $\{\omega^*\}$ и $\{\Omega^*\}$) вместо тех компонентов плана, которые не принадлежат к множеству $\{\omega^*\}$ или $\{\Omega^*\}$.

Обычно план содержит меньшее число компонент, чем соответствующая ему программа.

Рассмотрим более подробно соотношение операции планирования и операции программирования.

Если план P_k рассматривать как компонент $K_{\text{акт}}$, то его языковым носителем будет язык всей той объектной области K , которая входит в Z_k . Языком описания программы Ω_k^* является только язык моделей операторов (и процедур) первого рода в модальности «требование». Особенно наглядно языковое различие между P_k и Ω_k^* проявляется при разработке программ для ЭВМ, где обычно план P_k (метод решения задачи Z_k) описывают на языке физики, экономики и т. п., а программу Ω_k^* — на алгоритмических языках программирования.

Однако языковое различие между P_k и Ω_k^* не должно затемнять их принципиальной общности: и тот, и другой объект являются различными моделями одного и того же объекта — процедуры Ω_k решения Z_k .

При рассмотрении решения задач человеком и системой искусственного интеллекта полезно также отметить важность

локального контроля правильности изменения (программирования) плана P_k в программу Ω_k^* , при этом контроль может быть оформлен как подзадача синтаксической проверки и корректировки программы Ω_k^* .

Типовая схема функционирования рассматриваемой модели РС представлена на рис. 5.

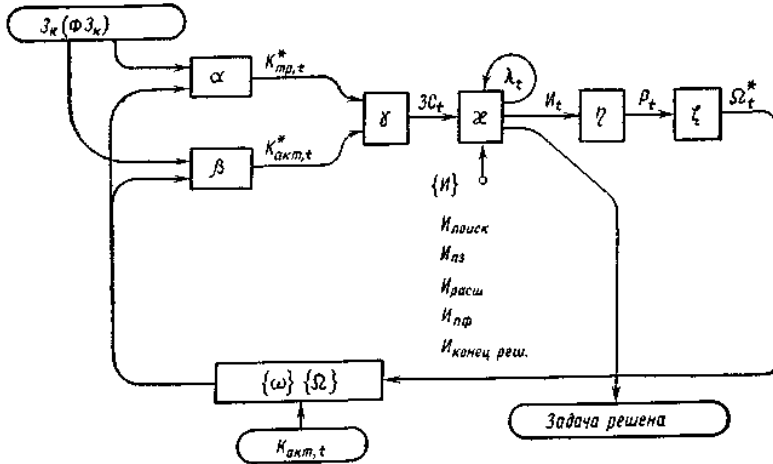


Рис. 5.

2.2.8. Количественные характеристики задач и процессов их решения

Количественными характеристиками отнесенных задач и процессов их решения являются:

- 1) время T_k решения задачи Z_k , т. е. период времени, потраченный решающей системой на изменение $K_{акт}$ в $K_{тр}$ ($K_{акт}$ в $K_{тр}$ для идеально-направленных задач);
- 2) стоимость C_k решения задачи Z_k (учитывающая расход ресурсов, например, памяти РС);
- 3) показатель A_k качества решения Z_k (точность $K_{тр}$, надежность получения $K_{тр}$ $K_{тр}$ и др.).

В общем случае эффективность \mathcal{E}_k решения Z_k может быть представлена с помощью функции $\mathcal{E}_k = F_3(T_k, C_k, \Lambda_k)$, где F_3 — непрерывная функция, монотонно убывающая при увеличении T_k и C_k и монотонно возрастающая при увеличении Λ_k .

Если рассматривать время T_k решения задачи как ресурс РС, то C_k должна включать стоимость времени решения задачи.

В ряде случаев при определении \mathcal{E}_k будем учитывать также расходы $C_{\text{раз}}$ и время $T_{\text{раз}}$, необходимые для создания решающей системы, к которой должна быть отнесена \mathcal{Z}_k .

Классификация задач, выполненная в п.2.2.4, позволяет в определенной степени высказываться об относительной трудности задач для РС. Так, при прочих равных условиях неопределенные или нерутинные задачи являются более трудными, чем определенные или рутинные.

2.3. К постановке общей задачи распознавания объектов искусственным интеллектом

2.3.1. Неформальная постановка задачи распознавания

Типичную задачу распознавания в самом общем виде можно сформулировать так. Есть некоторый *объект* или количество *объектов*, о которых *что-то* известно. Построить алгоритм, правильно вычисляющий это *что-то* по этому *чему-то*, причем не только для заранее предъявленных *объектов*, но и для любых других. Или хотя бы алгоритм, *ошибающийся* не очень *часто* и не очень *сильно*. Причем желательно не однократно построить такой алгоритм, а создать алгоритм более высокого уровня (метаалгоритм, метод, технологию...), строящий вычисляющий алгоритм по любому предъявленному набору объектов, чтобы этот алгоритм *часто* получался *приемлемым*. Саму задачу будем называть *распознаванием*, решающий ее алгоритм — *распознавателем*, а построение этого алгоритма — процессом построения алгоритма распознавания (*обучением* распознавателя).

Для формализации постановки задачи нужно придать смысл всем выделенным словам предыдущего абзаца. Но сперва приведем неформальные примеры таких задач:

Распознавание по образцам. Имеется некоторое количество картинок, на каждой из которых нарисована кошка (или треугольник, или жираф, или самолет, или конкретный человек) и, возможно, некоторое количество картинок, на каждой из которых она (он) отсутствует. Построить алгоритм, определяющий наличие кошки (треугольника и г.д.) на картинке

Имеется некоторое количество картинок, на каждой из которых нарисована буква, и известно, какая именно. Построить алгоритм, распознающий нарисованные буквы.

Распознация по результатам медицинской диагностики. Имеется некоторое количество историй болезни и приложенных к ним результатов обследований больных. Построить алгоритм по результатам обследований нового больного ставящий ему диагноз, назначающий лечение и/или прогнозирующий результаты лечения. Или, что более реально, подсказывающий врачу наиболее правдоподобные диагнозы.

Распознация по результатам геологической диагностики. Про некоторое количество разработанных нефтяных месторождений известны данные их предварительной геологической разведки (например, сейсмограммы) и результаты их эксплуатации. Построить алгоритм, предсказывающий эксплуатационные характеристики, в первую очередь мощность, разведанных, но еще не вскрытых месторождений

Распознация по результатам экономического прогнозирования. Имеются данные о еженедельных объемах продаж нескольких тысяч видов товаров в нескольких сотнях магазинов за несколько лет. Построить алгоритм, предсказывающий спрос на ближайший месяц

Кроме «чистого» распознавания, общая теория распознавания занимается и другими задачами, например, задачей *кластеризации* (синоним кластерный анализ, *cluster analysis*). Есть некоторое количество *объектов*, о которых *что-то* известно. Построить алгоритм, разбивающий объекты на группы (называемые кластерами), и алгоритм, определяющий, какому кластеру принадлежит объект, так чтобы объекты внутри каждого кластера были *похожи друг на друга*, а объекты из разных кластеров — *непохожи*, причем чтобы это было как правило (т. е. статистически) верно не только для заранее предъявленных объектов, но и для любых других, предъявляемых впоследствии. *Кластеризация* и ее аналоги часто возникают в качестве вспомогательных задач в распознании, сжатии данных и др.

В дальнейшем нами в основном будут обсуждаться вопросы построения распознающих алгоритмов, причем достаточно общих, не использующих специфики задачи.

Как правило, распознаваемые объекты, кодируются наборами (векторами) признаков (feature), либо являющихся числовыми, либо принимающих конечное множество значений. Допустимые значения векторов признаков образуют *пространство признаков* X . Например, если удастся закодировать объекты d числовыми признаками, то X — это подмножество стандартного d -мерного

евклидова пространства \mathbf{R}^d . Это не всегда возможно и не всегда просто. Во-первых, объекты могут быть неограниченно длинными и, либо их нужно научиться разбивать на части, помещающиеся в пространство фиксированной размерности, (сегментировать) и обрабатывать по частям, либо наоборот, отказаться от принципа кодировать объект фиксированным числом признаков. Во-вторых, один и тот же объект может быть оцифрован по-разному (страница может быть отсканирована с разными разрешениями или по-разному положена на сканер) и хотелось бы уметь преобразовывать разные представления (в данном примере — разные картинки) в один и тот же вектор признаков. В-третьих, какие-то свойства объектов, даже если они традиционно кодируются числами, могут быть существенно нечисловыми: наличие или отсутствие чего-либо, группа крови, артикул товара, словесное описание и т.п.. И в-четвертых, способ кодирования и даже размерность d может зависеть от множества предъявленных объектов.

Для простоты формулировок мы пока не будем рассматривать неограниченно длинные объекты и их сегментацию. Способы унификации представлений объектов (например, как пересчитать растровую картинку любого размера на растр фиксированного размера и какой размер целесообразно фиксировать, или вообще не пересчитывать ее в растровую, а разложить по какому-либо базису — тригонометрическим многочленам, wavelet'aM и т.п.) существенно зависят от конкретной задачи, которые мы их также не рассматриваем. А для кодирования дискретных признаков приведем общие рекомендации:

- Двоичные признаки (нет или да) рекомендуется кодировать традиционно: числом, принимающим значение 0 или 1, соответственно.

- Признаки, принимающие конечное число $k > 2$ существенно неарифметических значений (группа крови, категория товара, ...) рекомендуется кодировать k независимыми вторичными числовыми признаками: j -й вторичный признак x^j равен 1, если исходный признак принимал j -е значение, и равен 0 в противном случае. Вторичные

признаки удовлетворяют соотношению $\sum_{j=1}^k x^j = 1$. Этот способ

кодирования легко обобщается на случай, когда значение исходного признака известно не достоверно, а с как-то оцененной вероятностью.

- Признаки, принимающие конечное упорядоченное множество значений, (являющиеся дискретизацией числовых признаков, например, признак (холодный, нормальный, горячий) вместо

температуры, или оценки успеваемости по пятибалльной шкале) можно кодировать и одним числом (приблизительно угаданной температурой), но надежнее, хотя и дороже, набором нулей и единиц из предыдущего пункта.

- Целочисленные признаки тоже можно считать действительностными (например, количество проданных оранжевых пиджаков 56-го размера), но если они принимают заранее известное небольшое число значений (число конечностей — от 0 до 10), предпочтительнее кодировать их набором нулей и единиц.

Если объекты удалось закодировать набором из d числовых признаков, т.е. точкой стандартного евклидова пространства \mathbf{R}^d , признаки рекомендуется отнормировать так, чтобы они лежали в каком-либо заранее известном компакте, например, в единичном кубе или шаре.

Решения (*response*) — и ожидаемые, и вычисленные познавателем - кодируются (если временно забыть про распознавание длинных объектов) так же, как признаки объектов, т.е. точками (векторами) в некотором *пространстве результатов* Y , например, в q -мерном евклидовом пространстве \mathbf{R}^q . Тогда получается, что распознавателя нужно учить вычислять некоторую функцию $f: \mathbf{R}^d \rightarrow \mathbf{R}^q$, про которую известны только ее значения в конечном числе точек. Но для некоторых решений специального вида, например, принимающих ровно два значения, существуют специфические методы обучения. Иногда бывает удобно разбить распознаватель на несколько более простых, каждый из которых вычисляет ровно один числовой или двузначный дискретное решение.

Расознание численной (скалярной или векторной) характеристики объекта называется *регрессией*. Строгое математическое определение регрессии — это условное математическое ожидание одной случайной величины относительно другой, и во многих задачах регрессия распознавательная является регрессией математической.

Расознание качественной (дискретной) характеристики объекта называется *классификацией*, число возможных значений q — числом классов, а множество объектов, для которых эта характеристика принимает j -е значение — j -м классом. Решением действия распознавателя для каждого объекта лучше считать не номер класса, к которому познаватель относит объект, а более полное знание, исходя из которого номер класса легко посчитать, — q -мерный вектор "уверенностей" (*confidence*) в принадлежности объекта каждому из классов. Тем самым, классификация превращается в специальный случай регрессии.

В теоретически удобных случаях, когда пространство всех возможных объектов разбито на классы и на нем определена вероятность, "уверенности" в кавычках можно заменить вероятностями без кавычек и для них выполнены вероятностные нормировки (каждая от 0 до 1, сумма всех равна 1). На практике задачу классификации иногда обобщают на случай классов, объединение которых не равно всему пространству, (такая задача сводится к "правильно поставленной" задаче введением дополнительного класса), и даже на случай пересекающихся классов. При этом "уверенности" могут не быть вероятностями в каком-либо строгом смысле.

В литературе довольно часто изучается задача классификации с двумя сравнительно равноправными непересекающимися классами, покрывающими все пространство, или, что почти то же самое, отделение объектов одного класса от всех остальных. В этом случае распознаватель вычисляет ровно одно число ("уверенность" в принадлежности объекта первому классу) и для принятия решения достаточно сравнить эту "уверенность" с некоторым порогом.

Классы могут быть и неравноправны: объекты одного класса могут встречаться на несколько порядков реже, чем объекты другого класса. В этом случае распознавать, какому классу объект принадлежит с большей вероятностью не имеет смысла: почти всегда ко второму. Нет смысла обучать распознаватель оценивать вероятность принадлежности первому (очень редкому) классу.

Дополнительный класс "все остальное" может быть равноправен с настоящими классами (одним или более), а может быть и неравноправен еще и в следующем смысле: объекты дополнительного класса могут быть представлены при обучении классификатора, а могут и отсутствовать. То есть можно обучать классификатор узнаванию буквы 'а', не предъявляя ему ни других букв, ни знаков препинания, ни клякс. Другой пример: можно обучать систему голосового набора телефонных номеров распознаванию цифр, не предъявляя ей остальных слов, произносимых при разговоре с телефонным оператором, например, "пожалуйста".

Классификация с любым числом классов может быть сведена, причем разными способами, к решению конечного числа задач двухклассовой классификации. Иногда оказывается, что обучить и скомбинировать несколько двухклассовых классификаторов легче, чем обучить один многоклассовый. А иногда — наоборот.

Так получилось, что **регрессия (распознавание непрерывных величин)** «ущемлена в правах» по сравнению с **классификацией (распознаванием дискретных величин)**: при наличии вероятностной модели в дискретном случае можно предсказывать распределение

вероятностей результатов, а в непрерывном — только сам результат (например, его математическое ожидание) без каких-либо оценок уверенности в нем. Равноправие можно частично восстановить, предположив, что распределение принадлежит к какому-либо конечномерному семейству, и добавив к пространству результатов дополнительные прямые множители, описывающие какие-либо еще параметры распределения. Реальный пример таких параметров — дисперсия в случае одномерной регрессии и матрица ковариации в случае многомерной. А в широко распространенном частном случае, когда распределение является фиксированной центрально симметричной мерой, сдвинутой на какой-то вектор, например, гауссовым распределением с фиксированной матрицей ковариации, единственный распознаваемый (векторный) параметр — это математическое ожидание.

2.3.2. Формальная постановка задачи распознавания

Распознавание объектов ИИ заключается в определении параметров или характеристик этих объектов по результатам измерения их выходных и входных сигналов. Нами будут рассматриваться результативные (эффективные) процессы распознавания объектов, которые обеспечивают высокую точность определения параметров распознаваемых объектов. Хорошие результаты при реализации эффективных процессов распознавания объектов можно достичь за счет формирования специальных входных сигналов распознаваемого объекта, которые будем называть **тестирующими**. Поэтому, как правило, входные тестирующие сигналы могут приниматься заданными, и измерение их при активном процессе распознавания не является обязательным.

Основная трудность при решении задачи распознавания связана с тем, что выходные сигналы распознаваемого объекта, а также сигналы устройств измерения $Y(p, 0; t)$ искажены случайными помехами $n(p, 0; t)$. Таким образом, измеряемые сигналы всегда следует считать случайными, и распознавание оказывается тесно связано с фильтрацией случайных помех. Алгоритмы распознавания должны обеспечивать наилучшую (в статистическом смысле) точность оценки неизвестных параметров или характеристик распознаваемого объекта и в наибольшей степени ослаблять влияние случайных помех. **Специфика распознавания** заключается в том, что требуется не просто отделить полезный сигнал от шумов, а оценить параметры этого полезного сигнала, являющиеся одновременно параметрами распознаваемого объекта.

Модель многомерного распознаваемого объекта и измерительных устройств можно представить в виде

$$Y(p, 0; t) = Z(p, q; t)C(q, 0) + n(p, 0; t), \quad (1)$$

где $Y(p, 0)$ — матрица измеряемых выходных сигналов; $Z(p, q, t)$ — матрица базисных сигналов; $C(q, 0)$ — матрица неизвестных параметров, подлежащих распознаванию; $n(p, 0; t)$ — матрица шумов измерения.

Матрица $Z(p, q; t)$ составляется из выходных сигналов $z_{\pi\kappa}(t)$ системы базисных распознаваемых объектов, описываемых известными дифференциальными уравнениями вида

$$z'_{\pi\kappa}(t) = \sum_{\rho, \sigma} a_{\pi\kappa\rho\sigma} z_{\rho\sigma}(t) + \sum_{\mu} b_{\pi\kappa\mu} u_{\mu}(t) \quad (2)$$

или

$$Z'(p + q, 0; t) = A_0(p + q, p + q)Z(p + q, 0, t) + B_0(p + q, \mu)U(\mu, 0; t), \quad (3)$$

где $a_{\pi\kappa\rho\sigma}, b_{\pi\kappa\mu}$ — заранее известные параметры системы базисных распознаваемых объектов, составляющие матрицы A_0, B_0 ; $u_{\mu}(t)$ — входные тестирующие сигналы распознаваемого объекта, совпадающие с входными сигналами системы базисных распознаваемых объектов и образующие матрицу $U(\mu, 0; t)$. **Модель распознаваемого объекта (1) или (2) может быть получена с помощью спектрального представления линейных динамических систем.** При заранее заданных входных сигналах и граничных условиях $z_{\pi\kappa}(t_0) = 0$, известных в начальный момент времени t_0 , базисные переменные состояния $z_{\pi\kappa}(t)$ оказываются известными функциями времени, образующими известную матрицу $Z(p, q; t)$.

Путем обработки сигналов $Y(p, 0; t)$ на основании имеющейся информации о сигналах $u_{\mu}(t)$, $Z(p, q; t)$ и о характеристиках помех $n(p, 0, t)$ требуется определить наилучшие оценки $\hat{C}(q, 0)$ матрицы параметров $C(q, 0)$ или наилучшие оценки некоторой характеристики $Q(s, r; \alpha)$ системы (матрицы импульсных переходных функций, матрицы частотных характеристик и т. п.). При этом **распознаваемая характеристика является результатом линейного преобразования параметров $Q(s, r; \alpha) = F(s, q+r; \alpha)C(q, 0)$; α — аргумент распознаваемой характеристики (время, частота и т.п.).**

Специфика распознаваемых объектов в задаче распознавания следует из зависимости базисных сигналов в модели (1) от текущего времени, приводящей к непрерывному изменению условий эксперимента.

Это изменение описывается дифференциальными уравнениями (2), являющимися динамическими ограничениями и учитывающими воздействие тестирующих сигналов $u_{ii}(t)$. Кроме того, уравнения (1), (2), указывают на практическую невозможность повторных дублирующих измерений из-за того, что уже выполненные измерения затрудняют перевод распознаваемого объекта в исходное начальное состояние. Одной из особенностей динамических экспериментов является также необходимость распознавания некоторых, непосредственно не измеряемых характеристик $Q(s, r; \alpha)$, погрешность оценки которых может задаваться в виде интегрального функционала.

Процесс распознавания осложняется наличием нелинейных элементов в реальном распознаваемом объекте. Это ограничивает амплитуду тестирующих воздействий, которые должны подаваться относительно рабочей точки основной нелинейной характеристики. Тестирующие воздействия должны быть определены так, чтобы при уменьшении их амплитуды форма переходных процессов на выходах распознаваемого объекта не менялась. Для распознавания частотных характеристик рекомендуется использовать периодические (гармонические) сигналы, но при этом необходимо помнить, что это требует длительных экспериментов большого объема, так как необходимо ожидание конца переходных процессов.

Поэтому следует рассматривать методы распознавания при непериодических воздействиях на входе, обеспечивающих минимум интервала наблюдения $t_K - t_H$ при заданном показателе точности распознавания.

Рассмотрим задачу распознавания на простейшем примере одномерного объекта, на входе которого действует сигнал $x(t)$, а на выходе сигнал $y(t)$. Сигналы $x(t)$ и $y(t)$ могут рассматриваться как детерминированные, так и случайные. Будем рассматривать общий случай, когда сигналы $x(t)$ и $y(t)$ являются случайными функциями или случайными процессами, когда аргумент t представляет собой время. Стохастическая природа сигналов $x(t)$ и $y(t)$ вызвана как многочисленными факторами, действующими на эти переменные, так и тем, что при распознавании $x(t)$ и $y(t)$ получают путем их измерения, и при любом фиксированном значении аргумента t , x и y представляют собой случайные величины.

Задача распознавания теперь может быть сформулирована следующим образом. **Задан распознаваемый объект, в процессе нормального функционирования которого одновременно (синхронно) могут быть измерены его входная x и выходная y переменные. По результатам измерения $x(t)$ и $y(t)$ необходимо**

построить модель заданного распознаваемого объекта, т. е. найти оператор, ставящий в соответствие выходную $y(t)$ и входную $x(t)$ функции. Точнее, при распознавании ставится задача не определения самого оператора объекта, а его приближенного значения, его оценки. Если характеристикой распознаваемого объекта является оператор A_t (индекс t указывает, что оператор A зависит от аргумента t)

$$y(t) = A_t x(s), \quad (4)$$

то задача распознавания заключается в определении не оператора A_t , а его оценки A_t^* , которая и используется в качестве характеристики истинного оператора A

$$y^*(t) = A_t^* x(s). \quad (5)$$

Пусть у нас имеется распознаваемый объект и его модель (рис.1) на входе которых действует одна и та же переменная $x(t)$.

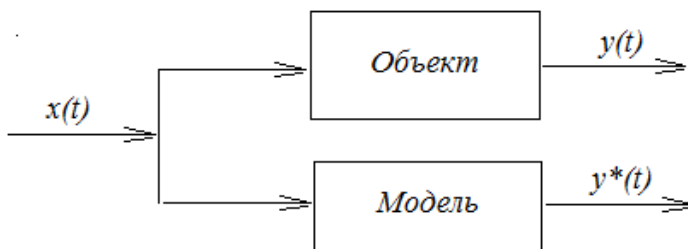


Рис. 1

Истинным выходом распознаваемого объекта является переменная $y(t)$, а на выходе модели мы имеем случайную функцию $y^*(t)$.

Соответствие между $y(t)$ и $x(t)$ устанавливается уравнением (4), а между $y^*(t)$ и $x(t)$ уравнением (5). Мы видим, что модель не дает нам истинного значения выходной переменной $y(t)$, модель беднее реальной действительности, реального распознаваемого объекта, и на выходе модели мы имеем какую-то другую функцию $y^*(t)$, отличную от $y(t)$.

В зависимости от характера распознаваемого объекта и применяемых средств измерения $x(t)$ и $y(t)$ результаты измерения входной и выходной переменных могут быть представлены в непрерывном или дискретном (прерывистом) виде. Возможные значения случайных функций, полученных по результатам эксперимента, принято называть **реализациями случайной функции**.

Задача распознавания и заключается в том, чтобы по реализациям $x(t)$ и $y(t)$ найти оценку A_t^* истинного оператора A_t , по которой можно познать распознаваемый объект. В простейшем случае, когда случайные функции $x(t)$ и $y(t)$ являются стационарными, т. е. их

характеристики не зависят от начала отсчета, и для них выполняется условие эргодичности по одной реализации каждой из случайных функций $x(t)$ и $y(t)$ достаточно для получения оценки оператора распознаваемого объекта A^* .

Будем говорить о соответствии между моделью и объектом-оригиналом только в том случае, если оценка оператора A^*_t близка в некотором смысле к его истинному значению A_t . Эвристически ясно, что требование близости A^*_t к A_t является существенно необходимым, так как при этом должно выполняться требование близости случайной функции на выходе модели $y^*(t)$, определяемой уравнением (5), к случайной функции на выходе распознаваемого объекта $y(t)$, определяемой уравнением (4). Близость A^*_t к A_t связана с выбранным критерием, который зависит от цели распознавания, т.е. от конкретной задачи распознавания. Критериями близости выходных переменных познаваемого объекта $y(t)$ и модели $y^*(t)$ могут служить, например, максимальная абсолютная разность между $y(t)$ и $y^*(t)$, средняя абсолютная разность этих функций, среднее квадратическое отклонение $y^*(t)$ от $y(t)$ и др. Когда критерий, по которому осуществляется распознавание объекта, задан, то будем говорить о близости $y^*(t)$ к $y(t)$ в смысле этого критерия или об оптимальном, в смысле этого критерия, определении модели распознаваемого объекта.

В математической статистике и статистической динамике при решении аналогичных задач вводится функция $\rho[y_t, y^*_t]$, которая зависит от выходных переменных распознаваемого объекта y_t и модели y^*_t , но не зависит от оператора A_t . Выбор этой функции зависит от принятого критерия оптимальности. **Функция $\rho[y_t, y^*_t]$ обычно называется функцией потерь, или функцией цены ошибки.**

Для решения задачи распознавания на математическое ожидание (среднее значение) этой функции будем накладывать требование минимума

$$M\{\rho[y_t, y^*_t]\} = \min \quad (6)$$

и в этом смысле будем понимать близость оценки A^*_t к истинному значению оператора A_t . Здесь и ниже M является символом осреднения. Соотношение (6) будет выполнено, если потребуем минимум математического ожидания функции $\rho[y_t, y^*_t]$ при заданной случайной функции $x(t)$, т. е.

$$M\{\rho[y_t, y^*_t/x_s]\} = \min. \quad (7)$$

Условие минимума соотношения (7) следующее:

$$\frac{d}{dy^*_t} M\{\rho[y_t, y^*_t/x_s]\} = 0. \quad (8)$$

При распознавании объектов в большинстве случаев оптимальный оператор будем искать по критерию минимума средней квадратической ошибки, т. е. принимать, что $\rho[y_i, y_i^*/x_i] = [y_i - y_i^*]^2$, и тогда критерий (6) будет иметь вид

$$M\{[y_i - y_i^*]^2\} = \min. \quad (9)$$

Из условия (8) получим следующее уравнение для определения оптимальной (в смысле минимума среднего квадрата ошибки) оценки оператора A_i :

$$y^*(t) = A^*_{i,x}(s) = M\{y(t)/x(s)\}, \quad (10)$$

где $M\{y(t)/x(s)\}$ — условное математическое ожидание выходной переменной относительно входной. Из уравнения (10) видно, что оператор условного математического ожидания, т. е. регрессия выходной переменной $y(t)$ относительно входной $x(s)$, дает оптимальный оператор распознаваемого объекта в классе всех возможных операторов.

Таким образом, определив из опытных данных условное математическое ожидание выходной переменной относительно входной, мы получим оптимальную (в смысле критерия минимума среднего квадратического отклонения) оценку оператора распознаваемого объекта.

При использовании нами статистических методов в распознании объектов будем чаще всего оптимальный оператор искать в классе линейных операторов. **Для линейного оператора выполняется принцип суперпозиции, т. е. результат преобразования линейным оператором суммы функций равен сумме результатов преобразования отдельных слагаемых суммы:**

$$A \sum_{i=1}^n x_i(t) = \sum_{i=1}^n A x_i(t) \quad (11)$$

или в более общей записи

$$A \sum_{i=1}^n a_i x_i(t) = \sum_{i=1}^n a_i A x_i(t). \quad (12)$$

где a_1, \dots, a_n — произвольные постоянные, а $x_1(t), \dots, x_n(t)$ — произвольные функции.

Для получения из общего уравнения (10) уравнения для нахождения оптимального по критерию минимума среднего квадрата ошибки оператора в классе линейных операторов умножим среднюю и правую части уравнения (10) на входную случайную функцию $x(t)$

$$A^*_{i,x}(v)x(s) = M\{y(t)/x(s)\}x(v).$$

Осредним теперь по входной переменной обе части последнего равенства:

$$M \{A^*x(v) x(s)\} = M\{M\{y(t)/x(s)\}x(v)\},$$

откуда получим

$$M \{A^*x(v) x(s)\} = M \{y(t) x(v)\}. \quad (13)$$

Поскольку оператор A^* ищется нами в классе линейных операторов, то оператор математического ожидания M коммутативен с оператором A , при самых общих предположениях. Тогда из (13) получим следующее уравнение для определения оптимальной оценки оператора в классе линейных операторов по критерию минимума среднего квадрата ошибки:

$$A^*M\{x(v)x(s)\} = M\{y(t)x(v)\}. \quad (14)$$

Для рассматриваемого линейного случая, не ограничивая общности, предположим, что математические ожидания случайных функций $x(t)$ и $y(t)$ равны нулю, т. е. $M\{x(t)\} = 0$ и $M\{y(t)\} = 0$. Тогда произведение, стоящее под знаком математического ожидания в левой части уравнения (14), представляет собой корреляционную функцию входного сигнала

$$M\{x^0(v)x^0(s)\} = K_{xx}(v, s),$$

а произведение, стоящее под знаком математического ожидания в правой части уравнения (14), есть взаимная корреляционная функция входного $x(t)$ и выходного $y(t)$ сигналов

$$M\{y^0(f)x^0(v)\} = K_{yx}(t, v).$$

Тогда уравнение (14) может быть переписано в виде:

$$A^*K_{xx}(v, s) = K_{yx}(t, v) \quad (15)$$

и весовая функция $g(t, s)$ распознаваемого объекта определяется из следующего интегрального уравнения:

$$K_{yx}(t, v) = \int_{t-T}^t g(t, s)K_{xx}'(s, v)ds, \quad (16)$$

где T —интервал времени наблюдения.

Уравнение импульсной переходной (весовой) функции

$$y(t) = \int_{t-T}^t g(t, s)x(s)ds$$

может представлять один из способов описания распознаваемого линейного динамического объекта, и, как видно из (16), она может быть получена путем решения интегрального уравнения, если известны корреляционная функция входного сигнала и взаимная корреляционная функция входного и выходного сигналов. В случае, когда имеются реализации случайных функций входа и выхода, получение корреляционных и взаимных корреляционных функций на компьютерах не представляет трудности, и решение интегрального

уравнения позволяет получить оптимальную оценку оператора распознаваемого объекта.

В частном случае, когда для линейного распознаваемого объекта случайные функции $y(t)$ и $x(t)$ являются стационарными и стационарно связанными, оптимальная по критерию минимума среднего квадрата отклонения оценка оператора может быть определена из уравнения

$$K_{yx}(\tau) = A^* K_{xx}(\tau - \lambda) \quad (17)$$

и весовая функция — при бесконечном интервале наблюдения — из известного интегрального уравнения Винера—Хопфа:

$$K_{yx}(\tau) = \int_0^{\infty} g(\lambda) K_{xx}(\tau - \lambda) d\lambda. \quad (18)$$

В этом случае, как нетрудно видеть, весовая функция, как и корреляционная, зависит только от одного аргумента.

Аналогично рассмотренному одномерному случаю ставится задача распознавания для многомерного распознаваемого объекта. Так, например, для распознаваемого объекта, схематически представленного на рис. 2, выходная переменная $y(t)$ зависит не от одной входной переменной $x(t)$, а от n переменных $x_1(t), \dots, x_n(t)$, т. е. на входе распознаваемого объекта действует векторная случайная функция $\vec{x}(t)$, составляющими которой являются случайные функции $x_1(t), \dots, x_n(t)$.

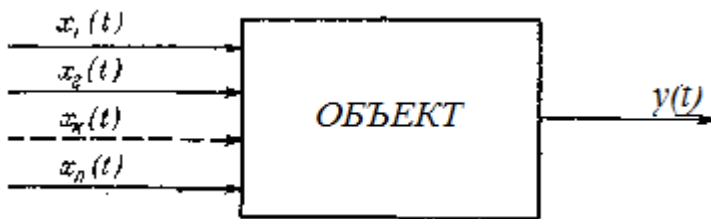


Рис. 2.

Задача распознавания заключается в определении оператора распознаваемого объекта A_t , устанавливающего **соответствие между выходной случайной функцией $y(t)$ и входной векторной случайной функцией $\vec{x}(t)$** :

$$y(t) = A_t \{x_1(t), \dots, x_n(t)\} = A_t \vec{x}(t). \quad (19)$$

По полученным из эксперимента реализациям $y(t)$ и $\vec{x}(t)$ следует искать наилучшую в каком-то смысле оценку оператора A_t^* , которая будет служить характеристикой неизвестного истинного оператора A_t :

$$y^*(t) = A^*_t \vec{x}(s). \quad (20)$$

Требование (7) в этом случае примет вид:

$$M\{\rho[y_b, y^*_t/x_l(s), \dots, x_n(s)]\} = M\{\rho[y_b, y^*_t/\vec{x}(s)]\}. \quad (21)$$

Подобно выкладкам, приведенным для одномерного распознаваемого объекта, в этом случае можно показать, что оптимальную оценку оператора многомерного распознаваемого объекта A_t по критерию минимума среднего квадрата ошибки получим по условному математическому ожиданию выходной переменной относительно вектора входных переменных

$$y^*(t) = A^*_t \{x_l(s) \dots x_n(s)\} = M\{y(t)/x_l(s) \dots x_n(s)\}, \quad (22)$$

или

$$y^*(t) = A^*_t \vec{x}(s) = M\{y(t)/\vec{x}(s)\}. \quad (23)$$

Для стационарного распознаваемого объекта, когда входные и выходные случайные функции являются стационарными и стационарно связанными, уравнение (23) примет следующий вид:

$$y^*(t) = A^*_t \vec{x}(s) = M\{y(t)/\vec{x}(t-\tau)\}. \quad (24)$$

Из уравнений (23) и (24) видно, что оптимальную оценку оператора A_t по критерию минимума среднего квадрата ошибки в классе всех возможных операторов дает условное математическое ожидание выходной переменной относительно вектора входных переменных. Другими словами, построив по опытным данным *множественную* регрессию $y(t)$ относительно вектора $\vec{x}(t)$, найдем оптимальный оператор распознаваемого объекта в указанном смысле.

Для многомерного распознаваемого объекта, представленного на рис. 2, задача распознавания может быть сформулирована аналогичным образом: по результатам эксперимента необходимо найти оптимальную в каком-либо смысле оценку оператора распознаваемого объекта A^*_t . При этом накладывается требование близости оценки A^*_t истинному значению A_t в смысле какого-либо критерия, т. е. должно быть выполнено требование близости векторной случайной функции на выходе модели $\vec{y}^*(t)$

$$\vec{y}^*(t) = A^*_t \{x_l(s), \dots, x_n(s)\} = A^*_t \vec{x}(s) \quad (25)$$

к векторной выходной переменной объекта $y(t)$.

Для определения оптимального оператора по критерию минимума среднего квадрата ошибки в этом случае функция потерь принимает вид:

$$\rho[y(t), y^*(t)] = \sum_i w_i [y_i(t) - y_i^*(t)]^2. \quad (26)$$

где веса w_i определяются значимостью каждой из выходных переменных $y_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, m$).

До сих пор мы рассматривали задачу распознавания объектов с сосредоточенными параметрами. **Более общей является задача распознавания объекта с распределенными параметрами.** Несмотря на то что задача распознавания здесь формулируется аналогичным образом, она носит более общий характер. Постановка задачи следующая. Пусть на входе объекта действует векторная случайная функция $\vec{x}(s) = [x_1(s), \dots, x_k(s), \dots, x_n(s)]$, состояние объекта характеризуется **векторным случайным полем**

$$\vec{u}(\lambda, t) = [u_1(\lambda, t), \dots, u_l(\lambda, t), \dots, u_p(\lambda, t)],$$

а на выходе объекта имеем **векторную случайную функцию**

$$\vec{y}(t) = [y_1(t), \dots, y_j(t), \dots, y_m(t)].$$

Задача построения модели распознаваемого объекта с распределенными параметрами сводится к нахождению оценок операторов:

$A_{\lambda, t}$, устанавливающего соответствие между входной переменной $\vec{x}(s)$ и случайным полем $\vec{u}(\lambda, t)$

$$\vec{u}(\lambda, t) = A_{\lambda, t} \vec{x}(s), \quad (31)$$

$B_{\lambda, t}$ — между различными составляющими случайного поля

$$u_l(\lambda, t) = B_{\lambda, t}^{l_j}(\lambda', t') \quad (l, j=1, 2, \dots, p, l \neq j), \quad (32)$$

$C_{\lambda, t}$ — между выходной переменной $\vec{y}(t)$ и случайным полем $\vec{u}(\lambda, t)$

$$\vec{y}(t) = C_{\lambda, t} \vec{u}(\lambda, t). \quad (33)$$

(Укажем, что аналогичную трактовку можно также использовать при распознавании объектов с сосредоточенными параметрами.)

Таким образом, по результатам измерений в области пространства Λ в течение времени T случайных функций $x(s)$, $s \in T_x$, $u(\lambda, t)$, $\lambda \in \Lambda$, $t \in T_u$ и $y(t)$, $t \in T_y$ ставится задача определения наилучших в каком-то смысле оценок неизвестных параметров распознавания $A_{\lambda, t}$, $B_{\lambda, t}$ и $C_{\lambda, t}$.

Аналогично предыдущему введем функцию потерь, которая для преобразования (31) будет зависеть от $\vec{u}(\lambda, t)$ и $\vec{x}(s)$ — $\rho[\vec{u}(\lambda, t), u^*(\lambda, t)/\vec{x}(s)]$, на математическое ожидание которой наложим требование минимума. Совершенно аналогично введем функции потерь для определения оценок операторов $B_{\lambda, t}$ и $C_{\lambda, t}$. Для определения оптимальной в смысле минимума среднего квадрата ошибки оценки оператора $A_{\lambda, t}$ принимаем

$$\rho[\vec{u}(\lambda, t), \vec{u}^*_l(\lambda, t)] = [\vec{u}_l(\lambda, t) - \vec{u}^*_l(\lambda, t)]^2,$$

и тогда аналогично предыдущему получим:

$$u(\lambda, t) = A^*_{\lambda, t} \vec{x}(s) = M\{u(\lambda, t)/x_l(s), \dots, x_n(s)\}. \quad (34)$$

$\varphi(x_s)$ и решение интегрального уравнения (37) даст оценку условной плотности $\varphi(y_i/x_s)$, которую обозначим через $\varphi^*(y_i/x_s)$. Как и выше, будем требовать близости оценки $\varphi^*(y_i/x_s)$ к истинному значению $\varphi(y_i/x_s)$ в смысле некоторого критерия. Речь идет о выполнении требования близости одномерной плотности вероятности выходной переменной модели $\varphi^*(y_i)$ к одномерной плотности вероятности выходной переменной объекта $\varphi(y_i)$. Для решения задачи распознавания введем функцию $\rho[\varphi(y_i), \varphi^*(y_i)]$ и на ее математическое ожидание наложим требование минимума

$$M\{\rho[\varphi(y_i), \varphi^*(y_i)]\} = \min \quad (38)$$

и в этом смысле будем понимать близость $\varphi^*(y_i/x_s)$ к $\varphi(y_i/x_s)$. Для решения задач распознавания будем принимать

$$\rho[\varphi(y_i), \varphi^*(y_i)] = \sum_{i=1}^k \frac{(p_i^* - p_i)^2}{p_i}, \quad (39)$$

т. е. взвешенную сумму квадратов отклонений эмпирических значений вероятностей p_i^* от теоретических p_i и использовать для этой цели χ^2 распределение. Решение задачи определения оптимальной оценки общей характеристики распознаваемого объекта $\varphi(y_i/x_s)$ можно также рассматривать при помощи функции $\rho[F(y_i), F'(y_i)]$, зависящей от функций распределения выходной переменной распознаваемого объекта и его модели. С целью использования критериев Колмогорова — Смирнова примем

$$\rho[F(y_i), F'(y_i)] = \sup_{x < \infty} |F^*(x) - F(x)|. \quad (40)$$

Как указывалось, выбор функции ρ зависит от принятого критерия. Для решения некоторых задач определения динамических характеристик распознаваемого объекта нахождение оптимального оператора можно производить по критерию минимума среднего квадрата отклонения корреляционных функций выходных переменных модели и объекта.

2.3.3. Геометрическая интерпретация задачи распознавания объектов

Пусть множество A объектов X состоит из двух групп объектов $A = A_1 \cup A_2$, причем $A_1 \cap A_2$ в общем случае не пусто (рис. 3).

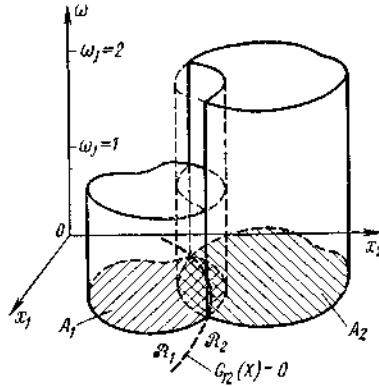
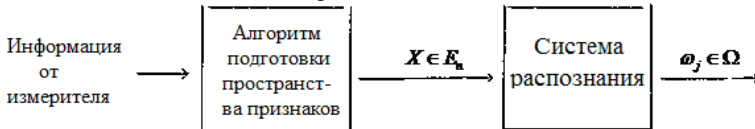


Рис.3.

Объект X имеет описание $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Тогда система познания, осуществляющая заданную классификацию, может быть представлена в виде модели, блок-схема которой имеет вид



Входное устройство вырабатывает описание объекта X по некоторому алгоритму подготовки пространства признаков, а затем алгоритм, реализующий процедуру принятия решения, определяет, к какому классу ω_j принадлежит распознаваемый объект.

Пусть описанию объекта X в n -мерном евклидовом пространстве E_n соответствует точка (x_1, x_2, \dots, x_n) или вектор $X = x_1e_1 + x_2e_2 + \dots + x_ne_n$. Рассмотрим работу классификатора при $n=2$ (рис. 3). Система, реализующая классификатор, должна по описанию объекта $X(x_1, x_2)$ определить, к какому классу он относится. Тем самым классификатор должен реализовать отображение исходного пространства признаков, определенного на множестве A , в пространство решений Ω . Пусть некоторая поверхность $G_{12}(X) = 0$ (нелинейная, многомерная в общем случае) отделяет друг от друга подмножества множества A . Эта поверхность называется *разделяющей поверхностью*. Получившиеся в $E_2 \ni X$ подобласти \mathcal{R}_1 и \mathcal{R}_2 , называются *областями решений*. При оптимальном (в определенном смысле) проведении разделяющей поверхности область решения \mathcal{R}_1 включает в себя все точки («большинство» точек) первого класса (A_1) и в ней отсутствуют точки (находится «минимум» точек) второго класса.

Для определения разделяющей поверхности вводится понятие функции принадлежности к классу, или *дискриминантной* функции. Функции принадлежности $g_j(x_1, x_2, \dots, x_n)$ к классам A_j ($j=1, 2, \dots, J$) обладают свойством

$$g_j(X) < g_i(X), \text{ если } X \in A_i (j=1, \dots, J, j \neq i, \forall i \in \{J\}).$$

Уравнение поверхности, разделяющей i -й и j -й классы, имеет вид (рис. 4)

$$G_{ij}(X) = g_i(X) - g_j(X) = 0, \text{ или } G_{ij}(X) = 0. \quad (*)$$

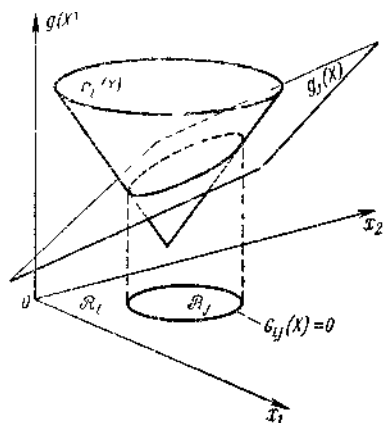


Рис. 4.

Решающая функция $C_{ij}(X)$, согласно (*), отрицательна в области решений i -го класса и положительна в области решения i -го класса. Точки, в которых $G(X)=0$, будем считать не принадлежащими ни первому, ни второму классам.

Если необходимо классифицировать не два, а более (J) классов, задача может быть сведена к построению $J - 1$ *дихотомии*, т. е. разбиению классов на две группы. Например, сначала находится разделяющая поверхность для первого класса и всех остальных классов, затем для второго класса и всех остальных и т. д.

Нами сформулирована общая задача распознавания и приведены основные уравнения для исследования линейных распознаваемых объектов.

2.3.4. Решение задач распознания

Только при полном понимании задач можно найти соответствующие способы их решения. Для результатов важнее поставить правильные вопросы, чем правильно ответить на ошибочные.

К. Норберг-Шульц

С понятием решения задач распознания искусственным интеллектом будем связывать три вопроса о его смысле и существенности:

1. Можно ли выделить задачи распознания искусственным интеллектом в особый и хорошо определенный класс задач?
2. Может ли класс задач распознания искусственным интеллектом быть описан операционно, чтобы стало возможным создание доступной методологии решения задач этого класса?
3. Имеет ли класс задач распознания искусственным интеллектом достаточное практическое значение, чтобы оправдать работы по развитию методологии решения задач распознания искусственным интеллектом?

На все эти вопросы можно ответить положительно. Как уже говорилось ранее, понятие общих объектов распознания как стандартных представителей практически важных классов эквивалентности объектов распознания естественным образом возникает из двумерной классификации объектов распознания, приведенной ранее. Хотя и совершенно ясно, что общие объекты распознания бесконечно разнообразны, это разнообразие может быть адекватно охвачено *конечным числом типов общих объектов распознания*, каждый из которых характеризуется определенным эпистемологическим уровнем и конечным набором соответствующих и существенных методологических отличий.

Поскольку существенные типы общих объектов распознания определены, постольку они образуют пространство, на котором можно определить типы задач распознания. Это пространство будем называть *пространством задач распознания*. Любой тип задач распознания определяется в терминах упорядоченных связей между двумя типами объектов распознания — начальным и конечным, а также набором типов требований, совместимых с типами этих объектов распознания. Для конкретных задач распознания эти требования могут быть целями или ограничениями. Хотя разнообразие реальных требований, предьяв-

ляемых к непустому пространству задач распознавания, бесконечно, они могут быть адекватно представлены конечным числом типов. Таким образом, любой тип задач распознавания характеризуется типами двух рассматриваемых объектов распознавания и конечным набором определенных типов требований.

Задача распознавания определенного типа станет конкретной, если заданы конкретные требования для всех типов и в зависимости от типов требований заданы конкретный исходный объект распознавания определенного типа или объекты распознавания обоих определенных типов. В первом случае начальный объект распознавания представляет собой начальное состояние задачи распознавания. Решение задачи распознавания (целевое состояние задачи распознавания) представляет собой один (или более) конкретный конечный объект распознавания требуемого типа. Во втором случае начальное состояние задачи распознавания представляется двумя конкретными объектами распознавания, а решением является некоторое отношение между ними.

Из такой характеристики задач объект распознавания следует, что они и в самом деле образуют особый и хорошо определенный класс общих задач распознавания. Тот факт, что бесконечное разнообразие этих задач распознавания сводимо к конечному числу хорошо определенных типов задач распознавания, делает безусловно возможным создание методологии решения данного класса задач распознавания. Таким образом, на первые два наших вопроса можно, очевидно, ответить положительно. Третий вопрос требует дополнительного обсуждения.

Решение задач распознавания сводится к решению задач распознавания, состояния которых представлены общими объектами распознавания хорошо определенного типа. Тем самым, рассматриваются только те аспекты задач распознавания, которые свободно интерпретируются и не зависят от контекста. Таким образом, применение методологии решения задач распознавания основано на допущении, что из конкретных задач распознавания могут быть выделены свободно интерпретируемые и контекстно независимые задачи распознавания.

Имеет ли смысл и нужно ли делить задачи распознавания таким образом? Да, это так. В самом деле, используем же мы это деление при решении простых повседневных задач, применяя, например, арифметику. Б. Зиглер очень хорошо формулирует это в предисловии к своей книге: **«Ни у кого не вызывает сомнения роль арифметики в науке, технике и управлении. Арифметика проникла повсюду, но при этом она является математической дисциплиной с собственными аксиомами и логической структурой. Ее содержание не принадлежит никакой другой дисциплине, но ее ко всем можно применить. Так, студентов биологов и студентов-инженеров учат**

сложению одинаково, различие состоит в том, что, когда и затем складывать. На практике моделирование и имитация также проникли во все области. Однако они имеют собственные подходы к описанию модели, ее упрощению, обоснованию, имитации, изучению, и эти подходы принадлежат только данной конкретной дисциплине. С этими утверждениями согласятся все. Никто, однако, не будет утверждать, что названные подходы можно выделить и абстрагировать в общепринятом виде».

Хотя Зиглер говорит о моделировании и имитации, его наблюдения равным образом применимы и к другим классам задач, таким, как проектирование систем, их анализ, идентификация, реконструкция, управление, оценка производительности, тестирование и т. д. Для многих подзадач этих задач могут быть созданы тонкие методы решения в терминах соответствующих общих систем, т. е. не связанные определенной интерпретацией или контекстом. Подобные методы значительно повышают эффективность и унифицируют процесс решения сложных задач точно так же, как арифметика облегчает решение очень простых задач.

Назовем концептуальную схему, в которой типы задач распознавания определены совместно с методами решения задач этих типов, *обобщенным решателем задач распознавания* (ОРЗР).

При решении задач распознавания в различных контекстах, связанных с разными традиционными областями науки, техники, медицины и т. д., а также в междисциплинарных исследованиях ОРЗР должен рассматриваться в первую очередь как методологическое средство, предположительно использующее вычислительную технику. Располагая этим средством, можно обращаться к его услугам всякий раз, когда в процессе решения какой-то проблемы распознавания возникает необходимость решения задач распознавания.

На рис. 5 показана роль ОРЗР как средства научного исследования в различных областях науки. В работе ОРЗР можно выделить два уровня операций.

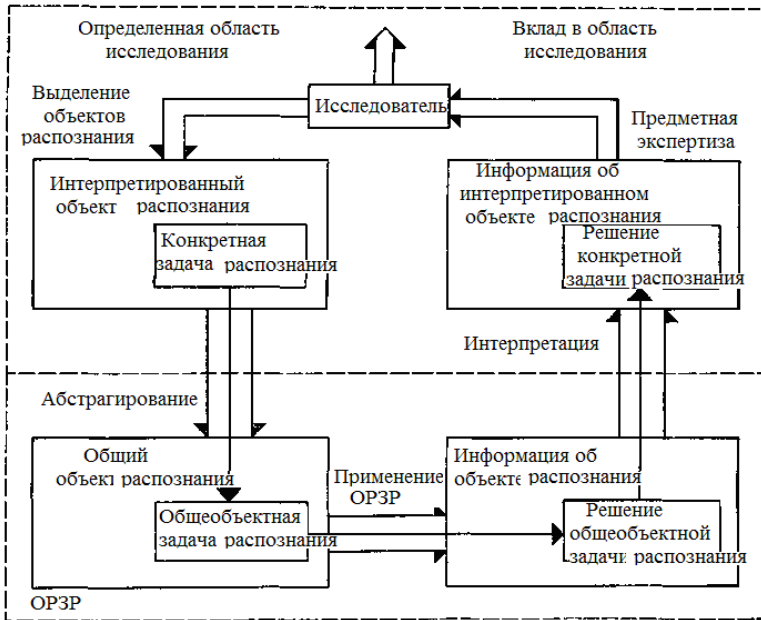


Рис.5. Роль ОРЗР как методологического средства

1. (Представлен внутренними прямоугольниками). Исследователь достаточно знаком с базовым языком ОРЗР, чтобы сформулировать интерпретацию своей задачи в виде задачи распознавания. В этом случае исследователь или пользователь сам определяет интерпретированную задачу распознавания в терминах ОРЗР (как будет описано ниже), а ОРЗР решает задачу распознавания и отображает решение в термины интерпретированного объекта распознавания. Подобная ситуация также возникает, если необходимо разработать процедуры, имеющие вид простых вопросов, задаваемых пользователю. Отвечая на эти вопросы пользователь определяет задачу распознавания, подходящую к данной ситуации.

2. (Внешние прямоугольники). Многие познавательные исследования достаточно сложны, так что исследователь может содержательно использовать больший объем информации, чем это требуется для решения определенной задачи распознавания. В этом случае также можно разработать процедуры, производящие преобразования из интерпретированного объекта распознавания в общий. Основываясь на информации, сопровождающей это преобразование, ОРЗР может перевести новую информацию относительно общего объекта

распознавания в термины интерпретированного объекта распознавания. Таким образом, исследователь может получить о нем новые сведения. Использование ОРЗР или аналогичных разработок науки об объектах распознавания требует, следовательно, введения интерфейса между вовлеченными в исследования дисциплинами. Такой интерфейс состоит из двух альтернативных процессов — *абстрагирования* и *интерпретации*. В научных исследованиях использование этих процессов носит, вообще говоря, непрерывный и постоянный характер. Это важнейшее свойство науки хорошо выражено Дж. Сп. Брауном:

«Наука — это непрерывный живой процесс, ее содержание — это деятельность, а не данные. Наука отличается от просто данных, как преподаватель отличается от библиотеки... Научное знание, словно отрицательная энтропия, постоянно стремится к уменьшению. Мешает же ей превратиться в короткий эпизод только стремление бесконечно повторять эксперименты и проверять результаты... **Наука это игра в значения: один игрок старается свести значительное к незначительному, задавая все новые вопросы, а другой стремится противопоставить этому натиску все новые эксперименты. Ученый, словно шахматист-энтузиаст, часто сам играет за обоих противников...** Повторения научных результатов преследуют две цели: во-первых, они препятствуют возникновению новых вопросов, стремящихся приуменьшить значимость результатов, во-вторых, каждое успешное повторение увеличивает значимость, которую такой вопрос мог сократить. Таким образом, происходит состязание между вопросами и результатами».

Схема на рис. 5 подходит не только для науки. Она с успехом может быть применена в технике, медицине или управлении. Хотя задачи в этих областях (т. е. проектирование систем, их тестирование, диагностика, принятие решений и т. д.) отличаются от задач, возникающих при научном исследовании, роль ОРЗР в оказании помощи пользователю при решении системных подзадач по существу остается той же.

Решение задач познания, как оно представляется в ОРЗР, возможно только в сочетании с традиционными методами науки или других областей, где общие задачи возникают в специфических контекстах. ОРЗР, для того чтобы оказаться практически полезным, должен охватывать как можно более широкий класс задач распознавания, в особенности задачи распознавания, являющиеся общими для многих дисциплин. Следовательно, концептуальная схема ОРЗР должна быть получена абстрагированием и организацией понятий распознавания и задач распознавания из как можно большего числа

дисциплин и приложением этой схемы, когда это нужно, к новым понятиям и задачам с целью образования единого целого.

Настоящую версию ОРЗР, так же как и любую из его будущих версий, не следует рассматривать как окончательную. Если принята определенная структура, то всегда имеется вероятность, что в процессе использования ОРЗР мы рано или поздно обнаружим новые понятия распознавания и задачи распознавания, неукладывающиеся в эту структуру. И хотя некоторые из них окажутся слишком специализированными, другие могут иметь настолько широкое применение, что будет оправданным их включение в эту структуру и разработка соответствующих методов. Таким образом, ОРЗР развивается во взаимодействии с пользователями, а сфера его применения в процессе развития непрерывно расширяется. С этой точки зрения ОРЗР можно рассматривать и как действующую программу исследований.

Итак, можно заключить, что задачи распознавания — это содержательные подзадачи распознавания общих задач распознавания, возникающих в традиционных дисциплинах науки и других областях человеческой деятельности, что эти подзадачи распознавания могут быть описаны операционально, и что методология их решения представляет большие возможности как для задач традиционных дисциплин, так и для междисциплинарных задач.

2.3.5. Архитектура решения задач распознавания

Хорошая архитектура должна быть отражением самой жизни, что означает глубокое понимание биологических, социальных, технических и художественных вопросов.

В. Гропиус

Хотя совершенно ясно, что решение задач распознавания бесконечно разнообразно, становится все понятнее, что это бесконечное разнообразие может быть достаточно полно представлено конечным набором задач распознавания. Этот набор взаимосвязанных задач распознавания получается в результате применения нескольких фундаментальных принципов, согласно которым классифицируются и организуются объекты распознавания.

Решение задач распознавания может изучаться и развиваться на разных уровнях обобщения и детализации. На самом высоком уровне

общности основное внимание уделяется разработке практически важных принципов организации объектов распознавания и выработке общего взгляда на процессы решения задач распознавания. Такие общие аспекты решения задач будем называть *архитектурой решения задач распознавания*.

Архитектура — это одна из самых древних профессий. В самом деле, уже в Древней Греции 2000 лет назад она была прекрасно развита и считалась самостоятельной профессией. Одним из лучших описаний архитектуры остается знаменитая книга «Об архитектуре» древнеримского архитектора и инженера I в. до нашей эры Марка Витрувия Поллиона. Следующий отрывок из этой книги хорошо выражает его взгляды:

«Архитектор должен обладать знанием многих областей науки и разного рода ученостью, так как его суждением проверяются все создания других искусств. Это знание — дитя практики и теории».

В своей долгой и увлекательной истории архитектура ассоциировалась почти исключительно с проектированием зданий. Только совсем недавно было показано, что некоторые общие принципы архитектуры относятся не только к проектированию зданий, но равным образом существенны и в других областях проектирования.

Необходимость использования приемов архитектуры при проектировании вычислительных машин была осознана в начале 60-х гг. Сам термин «компьютерная архитектура» был, видимо, введен Ф. Бруксом в связи с разработкой компьютера STRETCH фирмы IBM. В статье «Архитектурная философия» он вводит следующее определение:

«Компьютерная архитектура, как и всякая другая архитектура, это искусство определения требований пользователя к структуре, а затем проектирование таким образом, чтобы она как можно полнее соответствовала этим требованиям при заданных экономических и техниологических ограничениях».

Этот подход к компьютерной архитектуре, возникший из опыта проектирования ЭВМ STRETCH был последовательно выдержан при создании IBM System/360 — семейства одинаково спроектированных взаимно совместимых ЭВМ, отражавших как требования пользователей, так и экономические и технологические возможности. Результат этого подхода к проектированию компьютеров излагается в статье «Архитектура IBM System/360», написанной архитекторами этой серии машин Амдалем, Блаау и Бруксом.

Вскоре после этого компьютерная архитектура стала считаться важной частью компьютерного проекта. Теперь она изучается в любом

семинаре по информатике и вычислительной технике и хорошо описана в литературе.

Признание компьютерной архитектуры было первым шагом в расширении понятия архитектуры за традиционные рамки ее понимания как архитектуры зданий. В данной работе делается еще один шаг, распространяющий понятие архитектуры на все объекты распознавания. Подобное обобщение предлагается не впервые. Так, например, еще в 1962 г. Г. Саймон рассматривал подобную идею, называя ее «архитектурой сложности». Г. Земанек постоянно доказывал важность обобщения понятия архитектуры на все системы и ввел такие названия, как **обобщенная архитектур и абстрактная архитектура**. Подобного же мнения придерживается Дж. Таунер в своей книге «Архитектура знания». Однако ни одно из этих предложений не относится к решению задач распознавания. В этом смысле данная работа является единственной в своем роде.

Настоящая тенденция к расширению сферы архитектуры за рамки ее традиционной области — строительства зданий (и, возможно, других родственных сооружений вроде мостов и кораблей) не противоречит общепринятому и приведенному в словарях определению архитектуры. Например, в *Оксфордском словаре английского языка* архитектура определяется как «искусство или наука построения или конструирования любых сооружений для нужд людей», как «действие или процесс построения» или как «здание или сооружение». Таким образом, можно видеть, что, во-первых, термин «**архитектура**» имеет **три разных толкования: определенная дисциплина, определенный тип человеческой деятельности и определенный результат этой деятельности, и, во-вторых, во всех трех толкованиях архитектура понимается не только как архитектура зданий.**

Из определения, приведенного в толковом словаре, можно легко выделить две ключевые характеристики архитектуры: **1) архитектура связана с проектированием, конструированием, построением и т. п., т. е. с процессами создания искусственных объектов; 2) она имеет дело с использованием созданных объектов человеком.** Рассмотрим характеристики подробнее.

Хотя архитектура и ориентирована на проектирование, конструирование и построение, полностью все эти виды деятельности она не охватывает. Таким образом, архитектор является проектировщиком, работа которого завершается другими людьми. Его роль состоит в наблюдении за проектом на глобальном уровне; он занимается аспектами проекта, включающими любые интерфейсы с пользователем. В хорошем архитектурном проекте другие вопросы, не интересные с точки зрения пользователя, должны оставаться

открытыми. Однако архитектор обязан учитывать возможности технологии и экономические ограничения, чтобы быть уверенным, что его архитектурный проект может быть реализован без значительных затруднений.

Архитектурное проектирование предназначено для подготовки общих спецификаций, определяемых нуждами и пожеланиями пользователя и используемых на этапах проектирования и конструирования. Таким образом, первая задача архитектора при создании проекта — это определение реальных потребностей и пожеланий пользователя. Эта задача прекрасно сформулирована французским архитектором Ж. Годе: **«Архитектор прежде всего должен определять содержание, из которого он может затем извлечь форму».**

В хорошем архитектурном проекте многие детали будущей конструкции остаются непроработанными, оставляя достаточно свободы для дальнейшего проектирования и конструирования, но в нем имеются все спецификации существенных для пользователя характеристик. В этом смысле он представляет собой общее описание будущей конструкции, сделанное с определенного расстояния. Хорошего архитектора более чем что-либо другое отличает именно эта способность выбирать нужное отдаление, с которого хорошо различимы все существенные для пользователя свойства, но в то же время не видны остальные. Более поэтически эту точку зрения выражает следующий отрывок из книги «Дао Дэ Цзин» знаменитого китайского философа Лао Цзы (VI в. до н. э.):

«Находящееся в бесконечном движении не достигает предела. Не достигая предела оно возвращается к своему истоку».

Итог нашим замечаниям можно подвести с помощью следующей цитаты из Г. Земанека:

«Архитектурное проектирование — это проектирование сверху вниз, определяющее каждую деталь как функцию целого. С этой точки зрения архитектурное проектирование дополняет формальное определение: определить детали по общей структуре можно только в том случае, если метод описания позволяет совершенно свободно опускать детали и говорить о желаемых свойствах системы в целом до начала любой работы по объединению частей сооружения».

По Г. Блаау, одному из архитекторов IBM System/360, в проекте любой системы можно выделить три характерных уровня: **архитектура, исполнение и реализация.** *Архитектура системы* — это функциональное проявление системы с точки зрения пользователя; под *исполнением* понимается логическое описание внутренней структуры, делающей возможным осуществление этих функций; *реализация* — это физическое воплощение исполнения.

В хорошей архитектуре выдерживаются некоторые общепринятые принципы. Они четко изложены в статье Блауа. Приведем перечень этих принципов из данной статьи:

1. *Согласованность*. Хорошая архитектура согласована, т. е. частично знание системы позволяет предсказать остальное.
2. *Ортогональность*. Этот принцип требует, чтобы функции были независимы друг от друга и специфицированы по отдельности.
3. *Соответственность*. Согласно этому принципу следует включать в архитектуру только те функции, которые соответствуют существенным требованиям к системе, другими словами, в хорошей архитектуре нет ненужных функций.
4. *Экономность*. Никакая функция в описании архитектуры не должна в том или ином виде дублировать другую.
5. *Прозрачность*. Функции, найденные в процессе исполнения, должны быть известны пользователю.
6. *Общность*. Если функция должна быть введена, ее следует вводить в таком виде, чтобы она отвечала как можно большему числу назначений.
7. *Открытость*. Пользователю должно быть позволено использовать функцию иначе, чем это предполагалось при проектировании.
8. *Полнота*. Введенные функции должны с учетом экономических и технологических ограничений как можно полнее соответствовать требованиям и пожеланиям пользователя.

Архитектура решения задач распознавания должна соответствовать основным целям и принципам любой архитектуры, как это описано в данном разделе. Прежде всего, эта архитектура должна быть ориентирована на пользователя, т. е. должна охватывать все типы задач распознавания, с которыми будет работать предполагаемый пользователь. Хотя представление об этом пользователе должно быть как можно более широким, в первую очередь она ориентирована на ученых, инженеров и других специалистов. Различные типы задач распознавания определены, исходя преимущественно из тех задач распознавания, которые возникают в разных областях науки и техники, а также в таких областях, как медицина, управление или право.

На архитектурном уровне решение задач распознавания должно рассматриваться и описываться с определенной дистанции, позволяющей, не отвлекаясь на детали, распознать общую структуру. Реальный архитектурный проект для решения задач распознавания, вроде упомянутого в разд. 2.3.4 ОРЗР, должен разрабатываться сверху вниз и отражать различные принципы хорошей архитектуры. Этот подход описан в настоящей работе. Что касается исполнения ОРЗР, то в этой работе рассматриваются только те его аспекты, которые

непосредственно связаны с эпистемологическими существенными задачами распознавания, базирующимися на очень общих методологических отличиях.

В заключение отметим, что с точки зрения А.Кононюка «общая теория распознавания — это логико-математическая область, задачей которой является формулирование и вывод таких общих принципов, которые применимы ко всем научным областям (дисциплинам)». Для организации исследований в области теории распознавания на современном уровне желательно создать Общество научных «распознавателей», члены которого должны быть организаторами и активными участниками в реализации следующих целей:

1. Изучение изоморфности концепций, законов и моделей в различных областях и оказание помощи в перенесении их из общей области в другую.
2. Стимулирование разработки адекватных теоретических моделей в областях, их не имеющих.
3. Минимизация дублирования теоретических усилий в разных областях.
4. Содействие единству науки за счет совершенствования общения между специалистами различных научных областей (дисциплин, направлений).

Будем рассматривать общую теорию распознавания как некий уровень теоретического построения моделей, лежащий где-то между высоко обобщенными конструкциями чистой математики и конкретными теориями специальных дисциплин. С ледует сформулировать и развить математические теории распознавания высокого уровня общности. Одна из теорий распознавания может основываться на предположении, что любой объект распознавания можно представить в виде отношения, определенного на семействе множеств. Затем для изучения некоторых конкретных свойств объектов распознавания разными способами необходимо ввести дополнительные математические структуры.

2.3.6. Задачи обучения в теории распознавания

Математическая постановка задачи обучения. *Обучение системы распознавания* есть процесс построения решающей функции, соответствующей минимальному числу неправильно классифицируемых объектов распознавания. Пусть каждый класс ω_j ($j=1, \dots, J$) характеризуется n -мерной функцией плотности распределения вероятности вектора $X \in E_n$, $f(X/\omega_j)$ и вероятностью $P(\omega_j)$ появления ω_j . Процесс построения наилучшего в смысле

некоторого критерия оптимальности классификатора осуществляется на основе априорной (и текущей) информации об $f(X/\omega_j)$ и $P(\omega_j)$. Задача классификации объектов распознавания теперь может быть сформулирована в виде задачи теории статистических решений (испытания J статистических гипотез) с помощью определения решающей функции $d(X)$, причем $d(X)=d_j$ означает, что принимается гипотеза Γ_j : $X \sim \omega_j$.

Предположим, что принятие классификатором решения d_i , когда в действительности вектор на входе принадлежит ω_j , приводит к потере $L(\omega_j, d_i)$. Величина условных потерь (называемая также *условным риском*) для $X \sim \omega_j$ выражается уравнением

$$r(\omega_j, d) = \int_{X_{\Omega}} L(\omega_j, d) f(X/\omega_j) dX. \quad (1)$$

Для данного множества априорных вероятностей появления классов $P = \{P(\omega_1), P(\omega_2), \dots, P(\omega_J)\}$ средние потери (средний риск) будут

$$R(P, d) = \sum_{j=1}^J P(\omega_j) r(\omega_j, d). \quad (2)$$

Полагая

$$r_X(P, d) = \frac{\sum_{j=1}^J L(\omega_j, d) P(\omega_j) f(X/\omega_j)}{f(X)} \quad (3)$$

и подставляя (1) в (2), получаем для (2)

$$R(P, d) = \int_{X_{\Omega}} f(X) r_X(P, d) dX. \quad (4)$$

Величина $r_X(P, d)$ определяется как апостериорный условный средний риск решения d при данных значениях компонент случайного вектора X . Задача распознавания заключается в выборе такого решения d_j ($j=1, \dots, J$), которое минимизирует средний риск $R(P, d)$ или минимизирует максимум условного риска $r(\omega_j, d)$ (критерий минимакса). Заметим, что в некоторых задачах распознавания информация об априорных вероятностях $P(\omega_j)$ отсутствует. В этом случае целесообразно построить алгоритм классификации на основе минимаксного критерия по отношению к наименее благоприятному априорному распределению.

Оптимальное решающее правило минимизации среднего риска называется *байесовым правилом*. Из (4) следует, что достаточно рассмотреть каждый X в отдельности и минимизировать $r_X(P, d)$. Если

d^* является оптимальным решением в смысле минимума среднего риска, то

$$r_X(P, d^*) \leq r_X(P, d), \quad (5)$$

т. е.

$$\sum_{j=1}^J L(\omega_j, d^*) P(\omega_j) f(X/\omega_j) \leq \sum_{j=1}^J L(\omega_j, d) P(\omega_j) f(X/\omega_j). \quad (6)$$

Для функции потерь

$$L(\omega_j, d_i) = 1 - \delta_{ji} = \begin{cases} 0, & i = j, \\ 1 & i \neq j \end{cases} \quad (7)$$

средний риск, по существу, является также вероятностью ложного распознавания. В этом случае байесово решающее правило дает оптимальное решение

$$d_j = d^* \text{ т. е. } X \sim \omega_j \quad (8)$$

если

$$P(\omega_j) f(X/\omega_j) \geq P(\omega_i) f(X/\omega_i) (\forall i = 1, \dots, J). \quad (9)$$

Определим отношение правдоподобия между классами ω_j и ω_i следующим образом:

$$\lambda = \frac{f(X/\omega_j)}{f(X/\omega_i)}. \quad (10)$$

Тогда (8) примет вид

$$d^* = d_j, \text{ если } \lambda \geq \frac{P(\omega_i)}{P(\omega_j)} (\forall i = 1, \dots, J).$$

Классификатор, осуществляющий байесово решающее правило, называется *байесовым классификатором*.

В зависимости от уровня имеющейся априорной информации о функциях $f(X/\omega_j)$ байесов подход приводит к применению параметрических и непараметрических методов обучения. Параметрические методы сводятся к оценке в процессе обучения параметров функций распределения $f(X/\omega_j)$, вид которых задан априорно с точностью до неизвестных параметров. Применение непараметрических (адаптивных) методов обусловлено отсутствием при постановке задачи обучения априорной информации о $P(\omega_j)$ и о виде функций распределения векторов X по классам. В связи с этим адаптивный подход предполагает необходимость априорного задания структуры системы распознавания (или класса решающих функций). В этом состоит основная особенность постановки задачи непараметрического обучения.

Построение оптимальных разделяющих поверхностей. Пусть известны функции плотности вероятности принадлежности описаний объектов распознавания из множеств A_1 и A_2 к классам

$$f(X/\omega_1) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ и } f(X/\omega_2) = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Полагаем известными вероятности появления объектов распознавания из классов $p_1 = P(\omega_1)$ и $p_2 = P(\omega_2)$ и матрицу штрафов, т. е. потери $L(\omega_j, d)$:

$$L = W = \begin{vmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \end{vmatrix}. \quad (11)$$

Определим области решений, соответствующие минимуму среднего риска принятия гипотезы о принадлежности описания к классу. Средний риск R_{12} можно записать в виде

$$R_{12} = \int_{X_1} [p_1 w_{11} f_1(X) + p_2 w_{21} f_2(X)] dX + \int_{X_2} [p_2 w_{22} f_2(X) + p_1 w_{12} f_1(X)] dX, \quad (12)$$

где X_1 и X_2 — области решений первого и второго классов, причем

$$X_1 \cap X_2 = \emptyset.$$

Пусть Λ — произвольная область, $\Lambda \subset X_2$. Средний риск при измененных областях решений выражается суммой

$$R_{12} + \Delta_{\Lambda} r_{12} = \int_{X_1 \cup \Lambda} [p_1 w_{11} f_1(X) + p_2 w_{21} f_2(X)] dX + \int_{X_2 \setminus \Lambda} [p_2 w_{22} f_2(X) + p_1 w_{12} f_1(X)] dX. \quad (13)$$

Если X_1 и X_2 — области, соответствующие оптимальному решению, то приращение среднего риска $\Delta_{\Lambda} r_{12}$ должно быть неотрицательным:

$$\int_{\Lambda} [p_1 w_{11} f_1(X) + p_2 w_{21} f_2(X)] dX - \int_{\Lambda} [p_2 w_{22} f_2(x) + p_1 w_{12} f_1(X)] dX \geq 0.$$

Вследствие того, что Λ — произвольная область, полученное неравенство выполняется при условии

$$[p_1 w_{11} f_1(X) + p_2 w_{21} f_2(X)] - \quad (14)$$

$$- [p_2 w_{22} f_2(X) + p_1 w_{12} f_1(X)] \geq 0. \quad (15)$$

Рассматривая вариацию среднего риска при условии $\Lambda \subset X_1$, аналогично получаем

$$- [p_1 w_{11} f_1(X) + p_2 w_{21} f_2(X)] + [p_2 w_{22} f_2(X) + p_1 w_{12} f_1(X)] \geq 0. \quad (16)$$

Поверхность

$$[p_1\omega_{11}f_1(X) + p_2\omega_{21}f_2(X)] - [p_2\omega_{22}f_2(X) + p_1\omega_{12}f_1(X)] = 0 \quad (17)$$

делит пространство признаков (пространство изображений) на области X_1 и X_2 , соответствующие минимуму среднего риска. Полученное уравнение может быть записано в виде

$$\frac{f_1(x)}{f_2(x)} = \frac{p_2\omega_{22} - p_2\omega_{21}}{p_1\omega_{11} - p_1\omega_{12}}. \quad (18)$$

Обозначим правую часть уравнения через h . Тогда уравнение оптимальной разделяющей поверхности примет простой вид

$$f_1(X) - hf_2(X) = 0. \quad (19)$$

Значение порога h зависит от задания весов в матрице потерь (матрице штрафов). Пусть $\omega_{11} = \omega_{22} = 0$ и $\omega_{12} = \omega_{21} = 1$, что соответствует правилу Зигерта — Котельникова (или правилу идеального наблюдателя), тогда

$$h = \frac{p_2}{p_1}. \quad (20)$$

При таком выборе весов достигается минимум ошибочных решений. Если появление объектов распознавания из классов равновероятно, т. е. $p_1 = p_2$, то разделяющая поверхность определяется уравнением

$$f_1(X) - f_2(X) = 0. \quad (21)$$

В табл. 1 приведены некоторые правила и соответствующие им критерии оптимальности и значения порогов.

Таблица 1

Правила	Критерий оптимальности	Порог
Байеса	$\min r_{12}$ при $w_{11} = w_{22} = 0$	$\frac{w_{21}}{w_{12}} \frac{p_2}{p_1}$
Зигерта — Котельникова	$\min r_{12}$ при $w_{11} = w_{22} = 0$ $w_{21} = w_{12} = 1$	$\frac{p_2}{p_1}$
Максимум апостериорной вероятности	$\max_k P_k f_k(X), (k = 1, 2)$	$\frac{p_2}{p_1}$
Максимального правдоподобия	$\max_k f_k(X) (k = 1, 2)$	$\frac{h = 1, 1}{p_1 = p_2 = \frac{1}{2}}$

Рассмотрим конкретный пример определения оптимальной разделяющей поверхности, когда изображения в классах описываются n -мерными гауссовыми законами $f_1(X)$ и $f_2(X)$. Пусть \bar{X}_1 и \bar{X}_2 — математические ожидания, а $[\Sigma_1]$ и $[\Sigma_2]$ — матрицы ковариаций описаний первого и второго класса. Подставляя значения плотностей распределения изображений в классах в уравнение оптимальной разделяющей поверхности (19)

$$\frac{\frac{1}{V(2\pi)^n [\Sigma_1]} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (X - \bar{X}_1)^T [\Sigma_1]^{-1} (X - \bar{X}_1) \right\}}{\frac{1}{V(2\pi)^n [\Sigma_2]} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (X - \bar{X}_2)^T [\Sigma_2]^{-1} (X - \bar{X}_2) \right\}} = h, \quad (22)$$

а затем, логарифмируя это равенство

$$-\frac{1}{2} \ln [\Sigma_1] - \frac{1}{2} (X - \bar{X}_1)^T [\Sigma_1]^{-1} (X - \bar{X}_1) + \frac{1}{2} \ln [\Sigma_2] + \frac{1}{2} (X - \bar{X}_2)^T [\Sigma_2]^{-1} (X - \bar{X}_2) = \ln h, \quad (23)$$

получаем уравнение поверхности второго порядка. Следовательно, оптимальные разделяющие поверхности для нормальных распределений являются квадратичными.

В частном случае, когда ковариационные матрицы равны ($[\Sigma] = [\Sigma_1] = [\Sigma_2]$), уравнение разделяющей поверхности

$$2X^T [\Sigma]^{-1} (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - \bar{X}_1^T [\Sigma]^{-1} \bar{X}_1 + \bar{X}_2^T [\Sigma]^{-1} \bar{X}_2 = \ln h^2 \quad (24)$$

описывает плоскость, перпендикулярную к отрезку, соединяющему средние \bar{X}_1 и \bar{X}_2 . Если, кроме этого, $[\Sigma]$ — единичная матрица и $h=1$,

что соответствует правилу максимального правдоподобия, то получаем уже знакомый нам классификатор по минимуму расстояния. На рис. 6 дана иллюстрация влияния соотношения дисперсий в классах на оптимальное положение порога при минимизации среднего риска в одномерном случае ($f_3(x)$ — нормальные законы распределения).

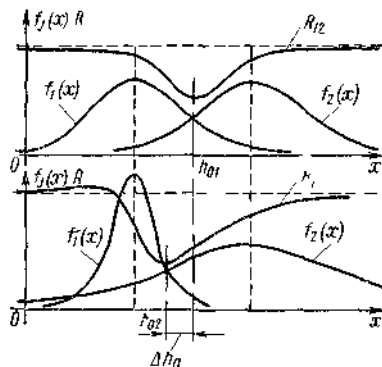


Рис. 6.

Случаи, показанные на рис. 6, отличаются лишь дисперсиями: коэффициенты матрицы потерь w_{ij} и априорные вероятности $P(\omega_{1,2})$ одни те же, причем $w_{11} = w_{22} = 0$, $w_{12} = w_{21} = 1$, $P(\omega_1) = P(\omega_2)$.

2.3.7. Формальная постановка задачи обучения распознавателя

Задачу обучения можно формализовать по-разному. Далее в качестве основной формализации фигурирует *минимизация эмпирического риска*. Для сравнения используются формализации в терминах вероятностных моделей и соответствующие им методы обучения: **байесовский, максимизации апостериорной вероятности и максимизации правдоподобия**.

Имеется:

пространство (векторов) признаков X , точками которого кодируются объекты распознавания, например, d -мерное евклидово пространство \mathbf{R}^d ;

пространство решений Y , точками которого кодируются результаты распознавания, например, q -мерное пространство \mathbf{R}^q .

пространство F распознающих функций (распознавателей) $f: X \rightarrow Y$, например, в случае евклидовых пространств X и Y , — непрерывных, дважды дифференцируемых, линейных, полиномиальных и т.п.;

пространство P распределений (вероятностных мер) на $X \times Y$, например, в случае евклидовых пространств X и Y — абсолютно непрерывных по мере Лебега, возможно еще и со всюду положительной и(или) гладкой плотностью, гауссовых смесей и т.п.. удовлетворяющих каким-то специфическим для задачи условиям:

функция штрафа $E: Y \times Y \times X \rightarrow \mathbf{R}$, называемая также функцией *ошибки, потеря, риски, loss function, error function, ...*, как правило, неотрицательная и равная 0 при совпадении первого параметра (прогнозируемого решения) и второго (истинного решения) и редко зависящая от третьего параметра (вектора признаков); например, в случае евклидова пространства Y применяется *квадратичный штраф* $E(r, y, x) = \|r - y\|^2$, а в случае дискретного пространства — так называемый *"0-1-штраф"*

$$E(r, y, x) = \begin{cases} 0 & \text{при } r = y; \\ 1 & \text{при } r \neq y; \end{cases}$$

далее будут рассматриваться только функции штрафа вида $E: Y \times Y \rightarrow \mathbf{R}$, от точки пространства признаков X не зависящие;

набор обучающих данных $T = \{(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)\}$, где $(x_i, y_i) \in Y \times Y$, которые считаются значениями независимых случайных величин с одним и тем же, но совершенно неизвестным, распределением $\pi \in P$.

Следует обратить внимание на то, что не требуется, чтобы по значению признаков x правильное решение y было определено однозначно. Определено лишь, хотя и неизвестно, зависящее от совместного распределения π и признаков x распределение $\pi(y|x)$ вероятнейшего правильного решения, в случае непрерывных распределений и непрерывного пространства решений имеющее плотность

$$p_{\pi, x}(y) = p_{\pi}(y|x) = \frac{p_{\pi}(x, y)}{p_{\pi}(x)} = \frac{p_{\pi}(x, y)}{\int_{y' \in Y} p_{\pi}(x, y') dy'}. \quad (1)$$

Требуется по X, Y, F, P, E и T построить распознаватель $f \in F$, минимизирующий математическое ожидание штрафа $E_{\pi}(f)$

$$E_{\pi}(f) = \int_{(x, y) \in X \times Y} E(f(x), y, x) d\pi(x, y) \rightarrow \min_{f \in F}, \quad (2)$$

где $\pi \in P$, или при некоторых $\epsilon, \eta > 0$

$$\pi(\{(x, y) \in \mathcal{X} \times \mathcal{Y} | E(f(x), y, x) > \epsilon\}) < \eta. \quad (3)$$

Такая потребность выглядит не вполне реалистичной, поскольку про распределение x , от которого все зависит, почти ничего не известно и наоборот, известные обучающие данные T ни на что не влияют. На самом деле про π известно, что обучающие данные T являются случайными с распределением π , что позволяет методом Монте-Карло приблизить ожидание штрафа (2) суммой

$$\int_{(x, y) \in \mathcal{X} \times \mathcal{Y}} E(f(x), y, x) d\pi(x, y) \approx E(f, T) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E(f(x_i), y_i, x_i), \quad (4)$$

называемой *средним штрафом обучения* или *средней ошибкой обучения (training error)*, *эмпирическим риском* и т.д.. Теперь можно попробовать подменить минимизацию интеграла $E_{\pi}(f)$ минимизацией этого приближения $E(f, T)$

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E(f(x_i), y_i, x_i) \rightarrow \min_{f \in \mathcal{F}} \quad (5)$$

— задача вполне разрешимая при не слишком сложной функции штрафа E и несложном пространстве распознавателей F .

Но следует понимать, что распознаватель, полученный в результате обучения минимизацией штрафа (5) зависит от обучающего набора, а какие-либо оценки для приближения (4) справедливы для функций f , не зависящих от набора T . Ожидание штрафа (2) можно оценить, взяв *набор тестовых данных* $T' = ((x'_1, y'_1), \dots, (x'_{N'}, y'_{N'}))$, аналогичных обучающим и независимых от них, и посчитав для них *средний штраф тестирования (среднюю ошибку, test error)* $E(f, T')$. И если тестовые данные действительно независимы, то отклонение среднего штрафа тестирования $E(f, T')$ от его ожидания $E_{\pi}(f)$ можно оценить стандартными методами статистики. Результат будет достаточно плохим: $E(f, T') > E(f, T)$, особенно при большом пространстве распознавателей и малом количестве обучающих векторов.

Казалось бы, чем больше пространство допустимых распознавателей F , тем лучший распознаватель в нем можно найти. Но только не описанным выше способом (5) минимизации средней ошибки обучения. Например, если допустимы распознаватели, вычисляющие любой набор значений в любом наборе из N точек X , то ошибку обучения можно свести к нулю, обеспечив чтобы $f(x_i) = y_i$ для всех обучающих векторов (x_i, y_i) . Таких распознавателей с нулевой ошибкой может быть много, какие из них действительно хорошие, а какие — плохие, остается только гадать. Крайний пример очень плохого, хотя и идеально обученного распознавателя: распознаватель f , такой что $f(x_i) = y_i$ и $f(x)$ принимает взятые произвольно случайные

значения при x вне обучающего набора. Распознаватели, имеющие малую ошибку на обучающем наборе и большую вне его, называются неспособными к обобщению (результатов обучения) и достаточно бесполезны. Другое название неспособности распознавателя к обобщению — *переобучение (overfitting)*.

Проверить, насколько распознаватель способен к обобщению, можно сравнив его среднюю ошибку при обучении со средней ошибкой на независимом тесте. Но хочется сразу организовать обучение так, чтобы получить хорошо обобщающий распознаватель. Грубый способ состоит в том, чтобы очень сильно ограничить пространство допустимых распознавателей: настолько сильно, чтобы плохих распознавателей с малой ошибкой обучения в нем быть не могло. Например, когда пространства Y и F конечномерные топологические (в частности, евклидовы), полезно обеспечить, чтобы $\dim(F) < N \dim(Y)$, поскольку в ситуации общего положения коразмерность множества распознавателей с нулевой ошибкой при обучении равна $N \dim(Y)$.

Можно рассматривать параметрическое семейство ограниченных подпространств пространства распознавателей и экспериментально подбирать значение параметра, при котором обученный распознаватель имеет достаточно малую среднюю ошибку на независимом тесте. На самом деле существенна не ограниченность подпространств, а ограничение на их *размерности Ванника-Червоненкиса (VC-dimension)*, но в простых случаях метрической ограниченности тоже достаточно. Такой подход называется *структурной минимизацией риска (structural risk minimization)* с нетрадиционным использованием слова "структура" (**покрытие пространства расширяющейся последовательностью подпространств обычно называется не структурой, а фильтрацией**).

Например, пространство распознающих деревьев естественно представимо в виде объединения подпространств, состоящих из деревьев с не более, чем K листьями. А для пространства распознавателей F , параметризованных евклидовым пространством W (т.е. состоящего из распознавателей вида $f(x) = F(w, x)$ для фиксированной функции $F : W \times X \rightarrow Y$ и параметра $w \in W$) в качестве подпространств можно брать шары с центром в нуле, то есть при обучении вместо задачи (5) решать семейство задач

$$\sum_{i=1}^N E(F(w, x_i), y_i) \rightarrow \min_{\|w\| \leq C}, \quad (6)$$

зависящих от параметра $C > 0$. Здесь и далее вместо средней ошибки (как в задаче (5)) минимизируется *суммарная ошибка обучения*, чтобы не возиться с множителем $\frac{1}{N}$.

Более эффективный на вид способ обучения состоит в том, чтобы не запрещать, а штрафовать. Например, можно пространство параметров распознавателя W считать евклидовым (или банаховым, причем хоть бы и \mathbf{R}^n , но с неевклидовой нормой) и назначить штраф, пропорциональный норме параметра (или в более общем виде, какую-то непрерывную функцию ψ с компактными множествами подуровня $\{w | \psi(w) \leq C\}$), то есть при обучении вместо задачи (4) решать задачу

$$\psi(w) + E(F(w, \cdot), T) = \psi(w) + \sum_{i=1}^N E(F(w, x_i), y_i) \rightarrow \min_{w \in W}, \quad (7)$$

В общематематической науке такой способ решения обратных задач — минимизация функционала (7) вместо решения относительно w системы уравнений $F(w, x_i) = y_i$ — называется *регуляризацией* по Тихонову. В качестве функции штрафа можно взять норму $\psi(w) = \epsilon \|w\|$ или квадрат нормы $\psi(w) = \epsilon \|w\|^2$ с малым коэффициентом ϵ .

На самом деле множества решений задач (6) и, например,

$$\epsilon \|w\|^2 + \sum_{i=1}^N E(F(w, x_i), y_i) \rightarrow \min_{w \in W}. \quad (8)$$

для дифференцируемых по w функций штрафа $E(F(w, x), y)$ при всевозможных значениях параметров $C > 0$ и $\epsilon \geq 0$, соответственно, в точности совпадают. Это немедленно получается при применении к задаче (6) метода множителей Лагранжа.

Иногда можно теоретически найти функцию регуляризации ψ или, что проще, константу C , гарантирующую, что минимизация выражения (7) или, соответственно, (6) обеспечивает малость средней ошибки (2), но теоретические оценки слишком пессимистичны. Чаще берут простую функцию регуляризации (квадрат нормы параметра, количество листьев дерева и т.п.) с коэффициентом, который подбирают эмпирически. Для этого распознаватель обучают при разных значениях коэффициента регуляризации на обучающем наборе T , оценивают среднюю ошибку на не пересекающемся с ним *оценочном наборе (validation set, часто используется калька "валидационный набор")* T' и выбирают значение коэффициента регуляризации, минимизирующее эту ошибку. Найденный минимум

ошибки уже не является правильной оценкой средней ошибки распознавателя, обученного при оптимальном значении коэффициента регуляризации, поскольку этот распознаватель зависит и от обучающего набора T , и от оценочного набора T' : для несмещенной оценки средней ошибки нужен третий набор данных — тестовый

Этот метод подбора параметра совершенно не зависит от метода обучения распознавателя. Например, так можно подбирать оптимальное число соседей k в методе k средних, которое тоже является в некотором смысле параметром регуляризации,

напоминающим $\frac{1}{\|w\|}$ для линейных распознавателей: чем больше k ,

тем меньше изменяется ответ распознавателя при изменении признаков.

Когда обучающих данных мало и жалко отделять от них часть только для оценки коэффициента регуляризации, применяется метод *кросс-валидации*. k -кратная кросс-валидация состоит в том, что обучающий набор разделяют на k примерно равных частей, для каждого значения коэффициента регуляризации обучают k распознавателей, каждый раз выбрасывая одну k -ую часть обучающего набора, оценивают среднюю ошибку каждого распознавателя на выброшенной при его обучении k -й части, усредняют эти k оценок и минимизируют результат усреднения. Аналогичную процедуру можно применять и для тестирования (*кросс-тестирование*), хотя измеренная таким образом средняя ошибка тестирования будет относиться не к конкретному распознавателю, а к способу обучения.

N -кратная кросс-валидация или кросс-тестирование на обучающем наборе длины N называется также *методам скользящего контроля* (*LOO, Leave-One-Out*). При этом обучается наибольшее число распознавателей, т.е. это казалось бы, самый медленный способ. Но некоторые методы обучения распознавателей позволяют переучивать их при замене всего лишь одного обучающего вектора гораздо быстрее, чем обучать с нуля.

Теорема 1. *Среднее арифметическое этих N ошибок является несмещенной оценкой для средней ошибки (2) на всем пространстве, усредненной по всем распознавателям, обученным на $N - 1$ векторе.*

Доказательство состоит в расписывании (в одну строчку) четырех упомянутых усреднений (несмещенность оценки — это тоже некоторое утверждение про ее усреднение).

2.4. Модели знаний

Такие понятия как "интеллект", "интеллектуальность", у специалистов различного профиля (системного анализа, информатики, нейропсихологии, психологии, философии и др.) могут несколько различаться, причем это не несет в себе никакой опасности

Примем, не обсуждая ее положительные и отрицательные стороны, следующую "формулу интеллекта":

"Интеллект=цель+ факты + способы их применения",

или, в несколько более "математическом", формализованном виде:

"Интеллект = цель + аксиомы + правила вывода из аксиом".

При поиске наиболее удобных, рациональных средств и форм информационного обмена человек чаще всего сталкивается с проблемой компактного, однозначного и достаточно полного представления знаний.

Знания - система понятий и отношений для информационного обмена. Можно условно классифицировать знания в предметной области на *понятийные, конструктивные, процедурные, фактографические знания и метазнания.*

Понятийные знания – набор (совокупность) понятий, используемых при решении данной задачи, например, в фундаментальных науках и теоретических областях наук, т.е. это **понятийный аппарат науки.**

Конструктивные знания - наборы структур, подсистем системы и взаимодействий между их элементами, например, в технике.

Процедурные знания - методы, процедуры (алгоритмы) их реализации и идентификации, например, в прикладных науках.

Фактографические знания - количественные и качественные характеристики объектов и явлений, например, в экспериментальных науках.

Метазнания - знания о порядке и правилах применения знаний (знания о знаниях).

Представление знаний есть процесс, конечная цель которого - представление информации (семантического смысла, значения) в виде информативных сообщений (синтаксических форм): фраз устной речи, предложений письменной речи, страниц книги, понятий справочника, объектов географической карты, мазков и персонажей картины и т.п.

Для этого необходимо пользоваться некоторой конструктивной системой правил для их представления и восприятия (прагматического смысла). Назовем такую систему правил **формализмом представления знаний**. Неформализуемые знания - это знания, получаемые с применением неизвестных (неформализуемых) правил, например, *эвристики*, интуиции, здравого смысла и принятия решений на их основе.

Человек пользуется естественным *формализмом* - языком, письменностью. Язык, языковые конструкции развиваются благодаря тому, что человеческие знания постоянно нуждаются в языковом представлении, выражении, сжатии, хранении, обмене. **Мысль, которую нельзя выразить в языковой конструкции, не может быть включена в информационный обмен. Язык - форма представления знаний.** Чем многообразнее язык народа, чем больше знаний он может отражать, тем богаче культура народа. В то же время, предложения и слова языка должны иметь **однозначный семантический смысл**. Особую роль играет **язык математики как язык наук** (не только точных, но и гуманитарных), формализации знаний, основа изложения системы знаний в естественных науках. Свой язык имеют химия, физика, экономика, информатика и т.д. Языки наук часто пересекаются и взаимообогащаются при исследовании междисциплинарных проблем.

Использование языковых систем и диалектов повышает надежность информационного обмена, снижая возможность неправильного истолкования передаваемой информации и уровень шумов в

сообщениях. Главное назначение языка науки - создавать и использовать типовые, "стандартные" формы изложения, сжатия и хранения *знаний*, **ликвидация полисемии (смысловой многозначности) естественного языка**. Полисемия, обогащая естественный язык, делая его богаче и выразительнее, тем не менее, является в информационном обмене источником семантического шума, смысловой неоднозначности, а часто - и алогичности, неалгебраичности.

Пример. Найдем и формализуем закономерность в последовательности 1, 10, 11, 100, 111, 1000, 1111, 10000, Из сравнения членов $A[i]$ ($i=1, 2, \dots$) последовательности, стоящих на четных местах и на нечетных местах, видно, что: 1) элемент на нечетном месте получается из элемента на предыдущем нечетном месте добавлением единицы справа к нему; 2) каждый элемент на четном месте получается из элемента на предыдущем четном месте добавлением справа к нему нуля. Это словесно описанное (неформализованное) правило можно записать на математическом языке, в аналитическом виде. Получим для случаев 1) и 2): $A[2n]=10A[2n-2]$, $A[2n-1]=10A[2n-1]+1$, $n=1, 2, \dots$. Можно записать формулу, объединяющую обе эти формулы: $A[2n+m]=10A[2n+n-2]+m$, где $m=0$ или $m=1$. Лучшая форма (с меньшей полисемией):

$$A[2n+\text{mod}(n, 2)] = 10A[2n+\text{mod}(n, 2)-2] + \text{mod}(n, 2).$$

Пример. Формализуем закон формирования последовательности: АВ, ААВ, АВВ, АААВ, АВВВ, Словесное описание правила имеет вид: к слову, стоящему на очередном нечетном месте, добавляется с конца символ "В", а к слову, стоящему на очередном четном месте слева, добавляется символ "А". "Формульная" запись правила: $X_{2n+1}=X_{2n-1}+В$, $X_{2n}=А+X_{2n-2}$, $n=1, 2, 3, \dots$. Здесь операция "+" означает **конкатенацию (присоединение текста к тексту справа)**, а X_n - элемент последовательности на n-м месте. Одной из важных форм (методов) формализации *знаний* является их представление классом (*классификация*). **Классификация** - выделение некоторого критерия (некоторых критериев) распределения и группировка систем или процессов таким образом, что в одну группу попадают лишь те системы (процессы), которые удовлетворяют этому критерию (значению критерия). **Классификация** - это метод научной систематики, особенно важный

на начальном этапе формирования базовых знаний научного направления.

Классификация, установление эквивалентности объектов, систем позволяет решать такие важные задачи информатики как фиксация *знаний*, поиск по образцу, сравнение и др.

Пример. Такими системами являются классификационная система К. Линнея в ботанике, систематика живых организмов, таблица элементов Д. Менделеева, систематика экономических систем, механизмов, "табель о рангах", введенная Петром Первым в 1722 г. Эта табель подразделяла чины на 14 рангов. Каждому чину соответствовала определенная должность. Первые 6 рангов статской и придворной служб и первый обер-офицерский чин в армии давали право на получение потомственного дворянства, что способствовало формированию дворянской бюрократии. Таким образом, "табель о рангах" выполняла социально-экономическую *классификацию* определенной (определяющей) части общества, социально-экономическое стимулирующее упорядочивание.

Указанные выше классификационные системы - иерархические структуры (модели) *представления знаний*. Отдельные понятия, факты, *знания*, связаны между собой отношениями дедуктивного (от частного к общему), индуктивного (от общего к частному) или индуктивно-дедуктивного вывода и формализуются соответствующими формальными структурами: **древовидными, морфологическими, реляционными и др.**

Пример. Рассмотрим систему "Фирма". Опишем всех сотрудников фирмы в лексикографически упорядоченном списке с именем "Сотрудники", указывая табельный номер, ФИО, год рождения, образование, специальность, разряд, стаж работы. Этот список дает нам *знание* о коллективе, его возрастных и профессиональных качествах и др. Составим другой список - "Заработная плата", где укажем для каждого сотрудника условия оплаты, величину их заработка (стоимости единицы времени их работы). Этот список дает нам *знания* о системе оплаты фирмы, ее финансового состояния и др. Оба списка содержат необходимый объем *знаний* о трудовом коллективе, если цель исследования этой системы - начисление заработной платы. Здесь мы наблюдаем и древовидные, и морфологические, и реляционные модели *представления знаний*.

Для более строгой формализации (сложных и динамических) *знаний* используют такой инструментарий, как *категории* и *функторы*. Впрочем, математическая сложность такого аппарата не дает применять его на первоначальных этапах формализации *знаний* и он чаще используется лишь тогда, когда *знания* получили достаточно полную математическую форму описания.

Появление и развитие объектно-ориентированных технологий и объектно-ориентированного проектирования, использующих близкие по духу идеи, тем не менее, актуализируют аппарат *категорий* и *функторов*, поэтому введем основные начальные понятия.

Категория $K = \langle S, M \rangle$ - это совокупность S элементов (компоненты, характеристики, параметры, свойства и другие параметры исследуемой системы), называемых объектами *категории*, и совокупность преобразований, *морфизмов* M - специального типа **преобразований**, которые позволяют **описывать (определять)**, например, эквивалентность, инвариантность и другие **свойства**. Объекты и морфизмы связаны между собой так, что:

1. каждой упорядоченной паре объектов $A, B \in S$ сопоставлено множество $M(A, B)$ морфизмов из M ;
2. каждый морфизм $m \in M$ принадлежит только одному из множеств $M(A, B)$;
3. в классе морфизмов M введен закон композиции морфизмов: произведение $a \circ b$ морфизма $a \in M(A, B)$ на морфизм $b \in M(B, C)$ определено и принадлежит $M(A, C)$ тогда и только тогда, когда объект $B \in S$ совпадает с объектом $C \in S$, причем композиция морфизмов ассоциативна: $(a \circ b) \circ c = a \circ (b \circ c)$;
4. в каждом множестве $M(A, A)$ содержится единичный или тождественный морфизм $I_A: \forall a \in M(X, A), \forall b \in M(A, Y), \forall A, X, Y \in S, \exists I_A: a \circ I_A = a, I_A \circ b = b$.

Категории, их использование для *представления знаний* адекватны мыслительным процедурам человека, учитывающим опыт, интуицию, понимание мира в терминах *категорий*, которым мы затем приписываем **реальные оболочки, конкретные структуры**. Объекты

категории могут быть связаны между собой, влиять друг на друга, даже если у них нет общего (формального) сходства, а свойства *категорий* отражают сущность способностей человека, его поведения в окружении.

Функтор - обобщение понятия *категории*. Для введения преобразования между *категориями* используем понятие *функтора*. *Функтор* - аналог семантической операции, т.е. преобразования информации, приводящего к появлению некоторого смыслового (семантического) содержания.

Функтор определяется парой отображений, которые сохраняют композицию морфизмов и тождественные отображения (сохраняют смысл информации при преобразованиях): одно отображение преобразует объекты **S** (грубо говоря, - информацию), а другое - преобразует морфизмы **M** (грубо говоря, - семантический смысл).

Самый плохо формализуемый в информатике процесс - это процесс образования семантического смысла. Строгая математическая основа аппарата *категорий* и *функторов* позволяет исследовать семантический смысл математически корректно (путем построения семантических сетей, анализа *фреймов*, продукционных правил и др.), что является необходимым условием формализации *знаний*, разработки баз *знаний* и систем интеллектуальной поддержки принятия решений.

Категорийно-функторный подход к проблеме формализации *знаний* позволяет формализовать многие интуитивно используемые понятия.

Пример. Формализуем, например, понятия "формула", "теория". Формула F_i - запись вида $R_i^{(k)}(x_1, \dots, x_k)$, которую следует читать так: k переменных x_1, \dots, x_k удовлетворяют отношению $R_i^{(k)}$. В каждой i -ой формуле F_i может быть различное число свободных (не связанных) переменных. Понятие "(формальная) теория" можно определить как кортеж $T = \langle S, F \rangle$, где S - **сигнатура (множество определенных, разрешенных операции)**, а F - множество формул без свободных переменных (**аксиом теории**). Если дополнительно определено и множество правил вывода P , то $T = \langle S, F, P \rangle$. Отсюда

видно, что формальная теория базируется на конкретной предметной области, определяемой **сигатурой**.

Для компьютерного представления и обработки *знаний* и данных о предметной области (об объектах, процессах, явлениях, их структуре и взаимосвязях), они должны быть формализованы и представлены в определенном формализованном виде.

При традиционном способе реализации математической модели, *знаний*, заложенных в ней, строится **моделирующий алгоритм (моделирующая программа)**, т.е. *знания* процедурно зависят от метода (алгоритма) обработки. В интеллектуальных системах (в системах искусственного интеллекта, в частности) *знания* о предметной области представлены в виде **декларативной (описательной)** модели формирования базы *знаний* и соответствующих правил вывода из нее и явно не зависят от процедуры их обработки. Для этого используются специальные модели *представления знаний*, например, **продукционные, фреймовые, сетевые и логические**. При обработке модели *знаний* используются процедуры логического вывода, называемые также механизмом или машиной вывода. Обычно в базе *знаний* зафиксированы общие закономерности, правила, **описывающие проблемную среду и предметную область**. Процедуры вывода позволяют на основании общих правил вывести решение для заданной конкретной ситуации, описываемой некоторыми исходными данными. Цепочка логического вывода строится по мере приближения к решению, в зависимости от выведенных на каждом шаге данных и выведенных к этому шагу новых *знаний*. Конкретные формы организации дедуктивного вывода зависят от того, в какой форме представлены *знания* в базе *знаний* (на каком языке *представления знаний*).

Продукционная модель представления знаний наиболее распространена в приложениях. Модель реализуется правилами-продукциями:

если <условие> то <заключение>.

В качестве условия может выступать любая совокупность суждений, соединенных логическими связками и (\wedge), или (\vee).

Пример. Продукцией будет следующее правило:

если (курс доллара-растет) \forall (сезон-осень) \wedge (число продавцов-убывает)
то (прогноз цен на рынке жилья - рост рублевых цен на квартиры) .

Такого рода правила и *знания* о ценах, предложении и спросе на рынке жилья могут стать базой для базы *знаний* о рынке жилья и экспертной системы для риэлторской группы (фирмы).

Существуют две основные стратегии вывода на множестве правил-продукций:

1. **прямой вывод** (вывод от исходных данных - фактов, аксиом - к цели, по пути вывода пополняя исходную базу *знаний* новыми полученными истинными фактами; процесс заканчивается лишь тогда, когда выведен факт, эквивалентный искомому);
2. **обратный вывод** (вывод от целевого факта к данным, на очередном шаге отыскивается очередной факт, в заключительной части содержится факт, эквивалентный исходному факту; процесс заканчивается тогда, когда для каждого факта, выведенного на очередном шаге, не будет найдено правило, имеющее этот факт в качестве заключения, а посылками - исходные или выведенные на предыдущих шагах факты).

Обе приведенные стратегии вывода имеют недостатки, достоинства и модификации.

Пример. Если все множество правил-продукций разбито на группы по некоторому признаку (структурировано), то вместо полного или случайного перебора всех правил при прямом и обратном выводе осуществляется целенаправленный переход от одной группы правил к другой. Используются также смешанные стратегии вывода, сочетающие прямой и обратный вывод.

Продукционные модели удобны для представления логических взаимосвязей между фактами, так как они более формализованы и достаточно строгие (теоретические), модульные (продукции явно между собой не связаны, поэтому их можно модифицировать по

модульной технологии), соответствуют долговременной памяти человека.

Представление знаний в виде *семантической сети* является одной из основных моделей *представления знаний*.

Семантическая сеть - это ориентированная графовая структура, каждая вершина которой отображает некоторое понятие (объект, процесс, ситуацию), а ребра графа соответствуют отношениям типа "это есть", "принадлежать", "быть причиной", "входить в", "состоять из", "быть как" и аналогичным между парами понятий. На *семантических сетях* используются специальные процедуры вывода: пополнение сети, наследование свойств, поиск по образцу и др.

Пример. Рассмотрим факт: "причиной неритмичной работы предприятия является старое оборудование, а причиной последнего - отсутствие оборотных средств". *Семантическая сеть* может содержать вершины "оборотные средства", "старое оборудование", соединяемые ребрами - отношениями типа "быть причиной".

Достоинство *семантических сетей* - наглядность *представления знаний*, с их помощью удобно представлять причинно-следственные связи между элементами (подсистемами), а также структуру сложных систем. Недостаток таких сетей - сложность вывода, поиска подграфа, соответствующего запросу.

Характерная особенность *семантических сетей* - наличие **трех типов отношений**:

1. класс - элемент класса (часть - целое, класс - подкласс, элемент - множество и т.п.);
2. свойство - значение (иметь свойство, иметь значение и т.п.);

пример элемента класса (элемент за, элемент под, раньше, позже)
Фреймовая модель представления знаний задает остов описания класса объектов и удобна для описания структуры и характеристик однотипных объектов (процессов, событий) описываемых *фреймами* - специальными ячейками (**шаблонами понятий**) **фреймовой сети (знания)**.

Фрейм - концентратор *знаний* и может быть активизирован как отдельный автономный элемент и как элемент сети. **Фрейм** - это **модель кванта знаний** (абстрактного образа, ситуации), активизация *фрейма* аналогична активизации этого кванта *знаний* - для объяснения, предсказания и т.п. Отдельные характеристики (элементы описания) объекта называются **слотами фрейма**. *Фреймы* сети могут наследовать *слоты* других *фреймов* сети.

Различают **фреймы-образцы** (прототипы), хранящиеся в базе *знаний*, и **фреймы-экземпляры**, создаваемые для отображения реальных ситуаций для конкретных данных.

Фреймовое представление данных достаточно универсальное. Оно позволяет отображать *знания* с помощью:

- **фрейм-структур** - для обозначения объектов и понятий;
- **фрейм-ролей** - для обозначения ролевых обязанностей;
- **фрейм-сценариев** - для обозначения поведения;
- **фрейм-ситуаций** - для обозначения режимов деятельности, состояний.

Пример. **Фрейм-структурами** являются понятия "заем", "вексель", "кредит". **Фрейм-роли** - "кассир", "клиент", "сервер". **Фрейм-сценарии** - "страхование", "банкинг", "банкротство". **Фрейм-ситуации** - "эволюция", "функционирование", "безработица".

Пример. Например, возьмем такое понятие, как "функция". Различные функции могут отличаться друг от друга, но существует некоторый набор формальных характеристик для описания любой функции (*фрейм* "**Функция**"): **тип и допустимое множество изменений аргумента (область определения функции)**, **тип и допустимое множество значений функции (множество значений функции)**, **аналитическое правило связи аргумента со значением функции**. Соответственно, могут быть определены *фреймы* "Аргумент", "Значение функции", "Закон соответствия". Далее можно определить *фреймы* "Тип аргумента", "Вычисление значения функции", "Операция" и др. Пример *слотов* для *фрейма* "**Закон соответствия**": **аналитический способ задания закона; сложность вычисления (реализации)**. Чтобы описать конкретное значение *фрейма*, необходимо каждому *слоту* придать конкретное значение, например, таким образом:

Имя фрейма - **Функция**;

Аргумент - **x**;

Значение функции - **y**;

Закон соответствия - **квадратичный**.

Слоты:

Значения аргумента - **R**;

Способ задания функции - **$y=ax^2+bx+c$** ;

Сложность вычисления - **7**.

Пример. Фрейм "Задача вычислительного типа" - на рис. 7.

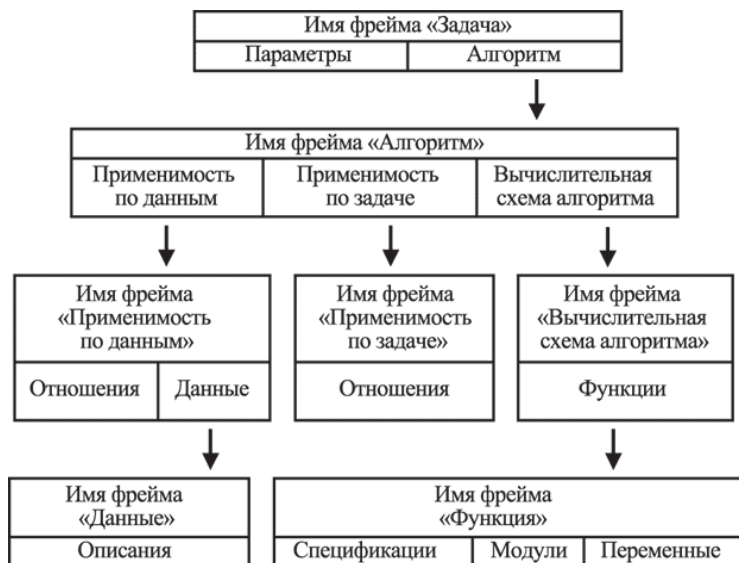


Рис. 7. Структура фрейма "Задача вычислительного типа"

Фреймовое представление наглядно и структурировано (модульно) и позволяет получать описание системы в виде связанных, иерархических структур (модулей - *фреймов*, единиц *представления знаний*).

Логическая (предикатная) модель представления знаний основана на алгебре высказываний и предикатов, на системе аксиом этой алгебры и ее правилах вывода. Из предикатных моделей наибольшее распространение получила модель предикатов первого порядка, базирующаяся на **термах** (аргументах предикатов - логических констант, переменных, функций), **предикатах** (выражениях с логическими операциями). Предметная область описывается при этом с помощью **предикатов и системы аксиом**.

Пример. Возьмем утверждение: "Инфляция в стране превышает прошлогодний уровень в 2 раза". Это можно записать в виде *логической модели*: $r(\text{InfNew}, \text{InfOld}, n)$, где $r(x, y)$ - отношение вида " $x=ny$ ", InfNew - текущая инфляция в стране, InfOld - инфляция в прошлом году. Тогда можно рассматривать истинные и ложные предикаты, например, $r(\text{InfNew}, \text{InfOld}, 2)=1$, $r(\text{InfNew}, \text{InfOld}, 3)=0$ и т.д. Очень полезные операции для логических выводов - **операции импликации, эквиваленции и др.**

Логические модели удобны для представления логических взаимосвязей между фактами, они формализованы, строги (теоретические), для их использования имеется удобный и адекватный инструментарий, например, язык логического программирования Пролог.

Модель предметной области можно определить упрощенно в виде:

$\langle \text{модель предметной области} \rangle = \langle \text{понятийные знания} \rangle + \langle \text{конструктивные знания} \rangle$.

При реализации указанных выше моделей используются **эвристики** - эмпирические или полуэмпирические правила, с помощью которых эксперт (экспертная группа) в отсутствие алгоритма (например, задача плохо структурируема) пытается найти решение, моделируя возможный ход рассуждений эксперта на основе эвристической

информации, получаемых в результате опыта, наблюдения, сбора и анализа статистики.

Пример. Сбор эвристической информации у представителей рынка приводит к следующим *знаниям*, которые можно представить, например, *семантической сетью* или продукциями:

1. нужно рекламировать свой товар активно в начальный период;
2. нужно поднимать цены в условиях отсутствия конкуренции;
3. нужно опускать цены в условиях жесткой конкуренции;
4. нужно стараться быть монополистом на рынке и др.

Многие знания, особенно находящиеся на стыке наук, трудно формализовать и описать формальными моделями, исследовать аналитически. В таких случаях часто применяют эвристики, эвристические процедуры, использующие аналоги, опыт поиска нового, исследования родственных задач, перебор вариантов с учетом интуиции.

Пример. Такими процедурами учат компьютер играть в шахматы. Шахматная программа - один из самых ранних примеров невычислительного применения ЭВМ. Если в 50-х годах она "играла" на уровне "разрядника", то за 40-50 лет она "научилась играть" на уровне чемпиона мира.

2.5. Особенности решения задач двумя решающими системами

2.5.1. Основные виды взаимодействия между решающими системами

В разделе 2.5 проводится анализ различных видов взаимодействия человека и ЭВМ с помощью моделей задачи и решающей системы, введенных выше. Нашей основной методологической идеей является рассмотрение взаимодействия человека и ЭВМ как процесса решения одной и той же задачи двумя решающими системами. При этом различные виды взаимодействия будут представлены как процедуры решения определенных типов задач либо систем задач.

Разработанные в настоящем разделе модели некоторых наиболее характерных видов взаимодействия между двумя решающими системами могут быть использованы как компоненты моделей человеко-машинных процедур, реализованных в экспериментальных обучающих и обслуживающих системах.

Пусть имеется некоторая задача $OЗ_k$, отнесенная к решающей системе PC_j , т. е. $OЗ_k = \{K, K_{акт}, K^*_{тр,j}, PC_j\}$.

Предположим, что PC_j может решить $OЗ_k$, привлекая к этому решению другую решающую систему PC_i . Для этого PC_j должна определить: свои возможности и возможности партнера по решению Z_k цель привлечения PC_i к решению Z_k , т. е. цель взаимодействия с PC_i . Выполнение этих условий приводит к следующему расширению j -й решающей системой компонентов $OЗ_k$:

$$\{\{K, PC_{ij}^*\}, \{K_{акт}, PC_{ij,k}^*, PC_{ij,k}^* \subset PC_{ij}^*\}, \{K_{тр,j}, Ц_j\}\}, \quad (1)$$

где $Ц_j$ — цель взаимодействия, имеющаяся у j -й решающей системы; $PC_{ij,k}^*$ — модель i -й решающей системы, имеющаяся у j -й решающей системы и включающая знания по средствам решения Z_k , которыми располагает PC_i ; $PC_{ij,k}^*$ — знания j -й решающей системы о собственных средствах решения Z_k .

Назовем множество (1) задачей, решаемой в результате взаимодействия двух решающих систем (ZB_k):

$$ZB_k = \{B, B_{акт}, B^*_{тр}, PC_j\}, \quad (2)$$

где

$$B = \{K, PC_{ij}^*\}; B_{акт} = \{K_{акт}, PC_{ij,k}^*, PC_{ij,k}^* \subset PC_{ij}^*\}; B^*_{тр} = \{K^*_{тр,j}, Ц_j\}.$$

Проведенный нами анализ процессов функционирования двух РС, как естественных, так и искусственных, при решении одной и той же задачи позволят выделить следующие основные цели взаимодействия:

1) цель $Ц_n$ — передать партнеру Z_k ; эта цель возникает у PC_j чаще всего в том случае, если Z_k — задача, рутинная для PC_i ; другим вариантом $Ц_n$ является стремление повысить эффективность решения Z_k либо превратить ее из относительно неразрешимой для PC_j в относительно разрешимую для PC_i ;

2) цель $Ц_{ср}$ — решить Z_k совместными усилиями, т. е. разделить операции и (или) процедуры процесса решения Z_k между PC_j и PC_i ; необходимость в совместном решении Z_k возникает прежде в том случае, когда Z_k из относительно неразрешимой для каждого партнера в отдельности становится относительно разрешимой для $(PC_j \cup PC_i)$;

3) цель $Ц_{уч}$ — усовершенствовать свои знания и умения за счет знаний и умений партнера;

- 4) цель $\Pi_{об}$ — усовершенствовать знания и умения партнера за счет своих знаний и умений;
- 5) цель $\Pi_{вып}$ — выполнить решение Z_k , которая может быть передана партнером.

Процедура изменения Z_k в ZV_k , осуществляемая j -й решающей системой, может быть легко представлена с помощью операций α_j , β_j , γ_j , κ_j или соответствующих им процедур. Действительно, формирование моделей $PC^*_{jj,k}$ и $PC^*_{ij,k}$, представляющих «осознание» j -й системой своих возможностей и возможностей партнера по решению Z_k , — это реализация оператора β_j , расширяющего актуальное состояние предмета Z_k

$$K_{акт} \xrightarrow{\beta_j} \{K_{акт}, PC^*_{jj,k}, PC^*_{ij,k}\}. \quad (3)$$

Далее, для того чтобы PC_j могла осуществить изменение Z_k в ZV_k , набор альтернативных «стратегий», среди которых производит выбор оператор κ_j оценки и принятия решения, должен быть расширен за счет следующих императивов, описывающих соответственно цели взаимодействия $\Pi_{п}$, $\Pi_{ср}$, $\Pi_{уч}$ и $\Pi_{об}$:

- 1) императив $\Pi_{п}$ передачи партнеру задачи Z_k ;
- 2) императив $\Pi_{ср}$ совместного решения, предусматривающий, в частности, разбиение подзадач, составляющих Z_k , на два подмножества $\{PZ_{k,i}\}$ и $\{PZ_{k,j}\}$, которые характеризуются тем, что относятся соответственно к PC_i и PC_j ;
- 3) императив $\Pi_{уз}$ усовершенствования своих знаний и умений ($\Pi_{уч}$) либо знаний и умений партнера ($\Pi_{об}$).

Определение 1. Если некоторая PC_j осуществила изменение отнесенной к ней задачи Z_k в задачу ZV_k , решаемую в режиме взаимодействия с i -й решающей системой, а также сформировала сообщение $C_{j,l}$, включающее один из императивов $\Pi_{п}$, $\Pi_{ср}$, $\Pi_{уч}$ или $\Pi_{об}$, то PC_j является инициатором взаимодействия для решения Z_k .

Отметим, что каждая из операций, обеспечивающих изменение $Z_k \rightarrow ZV_k$, в свою очередь может представлять собой отдельную подзадачу, в том числе и решаемую при взаимодействии PC_j и PC_i . Характерным примером такой подзадачи является взаимодействие при формировании модели партнера, которое может происходить каждый раз, когда PC_j не может без обмена сообщениями «отобразить» PC_i в адекватную модель $PC^*_{ij,k}$.

Таким образом, процедура решения ZV_k включает:

- 1) процедуру собственно взаимодействия, направленную на достижение цели $\Pi_{п}$, $\Pi_{ср}$, $\Pi_{уч}$, $\Pi_{об}$ или $\Pi_{вып}$;

2) процедуру решения Z_k которая в случае совместного решения включает решение подзадач, разбитых на два подмножества и отнесенных соответственно к PC_i и PC_j .

Будем считать, что в данный момент времени управляет взаимодействием тот из партнеров, который к этому моменту закончил передачу сообщения, содержащего вопрос или императив. В первом приближении можно принять, что на данном интервале процесса решения задачи управляет тот из партнеров, который выдал большее число вопросов и (или) императивов.

Характерными для решения Z_k являются разработка и осуществление программы (или программ) управления взаимодействием Ω_{vk}^* , направленной на решение подзадач собственно взаимодействия.

Процедура управления взаимодействием Ω_{vk} осуществляет изменение актуального состояния предмета Z_k в такое его состояние, которое предусмотрено целью взаимодействия. В процессе решения Z_k программа Ω_{vk}^* является главной управляющей программой, которой подчинены планы и программы решения подзадач $\{PZ_{ki}\}$ и $\{PZ_{kj}\}$.

Планирование и программирование решения подзадач $\{PZ_{ki}\}$ и $\{PZ_{kj}\}$ происходит так же, как и задачи, рассмотренной ранее с помощью тех операторов $\{v\}$ и $\{\omega\}$, которые имеются у PC_i и PC_j соответственно.

Программа взаимодействия обеспечивает, как мы уже говорили, достижение цели C_j путем организации обмена сообщениями между партнерами. Содержание этих сообщений определяется: видом цели C_j ; адекватностью моделей PC_{ij}^* , $PC_{ij,k}^*$, PC_{ji}^* и $PC_{ji,k}^*$; уровнем взаимопонимания партнеров.

Более подробно содержание сообщений партнеров рассматривается ниже.

Процедура управления взаимодействием Ω_{vk}^* может осуществляться одной из решающих систем либо обеими PC . В первом случае следует также различать взаимодействие, управляемое его инициатором, и взаимодействие, управляемое партнером инициатора.

Программа Ω_{vk}^* и соответствующий план P_{vk} взаимодействия могут быть статическими или динамическими.

При статическом планировании один из партнеров, скорее всего инициатор диалога, разрабатывает полный план решения задачи Z_k , в частности, разбиение Z_k на множества подзадач собственно взаимодействия $\{PZ_{ki}\}$ и $\{PZ_{kj}\}$, до осуществления решения подзадач, входящих в эти множества.

При динамическом планировании выделение очередной подзадачи и отнесение ее к решающей системе PC_i или PC_j происходит после решения предыдущей.

В зависимости от того, какой план — статический или динамический — реализуется при решении ZB_k , будем различать взаимодействие со статическим распределением функций между партнерами, и, соответственно, взаимодействие с динамическим распределением функций.

Динамические план и программа решения ZB_k при прочих равных условиях меньше по объему статических плана и программы, поскольку последние должны учитывать альтернативы в промежуточных результатах и соответственно предусматривать операции и процедуры для этих альтернатив.

Если PC_j обладает алгоритмической или квазиалгоритмической программой взаимодействия $\Omega_{BK, j}^*$, то соответствующая ZB_k для PC_j является согласно определению рутинной или квазирутинной задачей. Понятие задачи, решаемой в результате взаимодействия (ZB_k), а также материал изложенный ранее, позволяют уточнить определения основных видов взаимодействия между двумя решающими системами, в том числе и предварительное определение диалога, введенного нами ранее.

Непрямое взаимодействие характеризуется интервалами обмена сообщениями, регламентированными внешней средой, а не особенностями решения ZB_k . Внешняя среда является, по существу, «посредником» между PC_j и PC_i , которые решают ZB_k . Наличие «посредника» и позволяет назвать такое взаимодействие непрямым. При этом, как правило, затруднено формирование адекватных моделей PC_{ij}^* и PC_{ji}^* , а также решение подзадач контроля, оценки и поиска, если такие подзадачи входят в ZB_k .

Непрямое взаимодействие зачастую имеет следующие особенности:

- а) статический план решения ZB_k ;
- б) программа и процедура управления взаимодействием, как правило, формулируются инициатором взаимодействия PC_j , исходя из модели $PC_{ij, k}^*$ партнера, сформировавшейся у инициатора к началу взаимодействия.

Примерами непрямого взаимодействия могут служить совместное решение задачи по переписке, пакетный режим эксплуатации ЭВМ и др.

При прямом взаимодействии интервалы между сообщениями определяются только особенностями PC_i , PC_j и Z_k . При этом:

- а) возможен как статический, так и динамический план решения ZB_k ;
- б) обмены сообщениями с реальным партнером по мере необходимости облегчает формирование адекватных моделей PC_{ij}^* и PC_{ji}^* ;

в) оперативное решение подзадач контроля, оценки и поиска облегчает осуществление операций второго рода $\{v_j\}$, выполняемых инициатором взаимодействия при уточнении формулировки Z_k , разработке плана и программы ее решения. Примером прямого взаимодействия может служить взаимодействие пользователя с системой разделения времени. Основные виды взаимодействия между двумя решающими системами представлены на рис. 1.

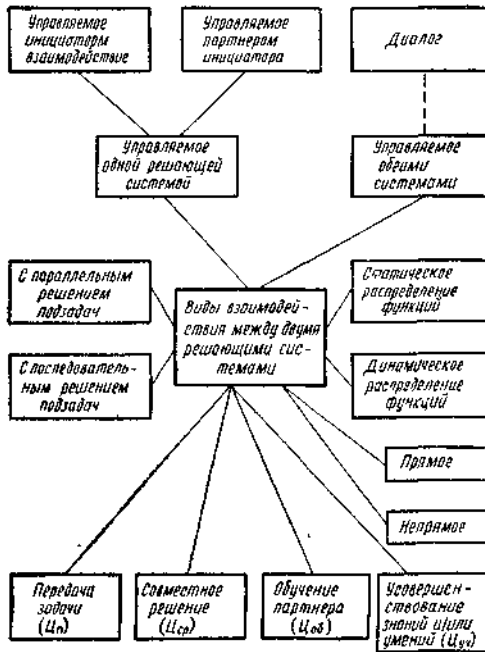


Рис.1

2.5.2. Взаимопонимание партнеров при решении задачи

Важным условием эффективного решения Z_k двумя РС является взаимопонимание между ними, т. е. понимание одним партнером сообщений другого партнера и результатов операций и процедур, выполняемых последним при решении Z_k . Если предмет Z_k , является знаковой моделью, то результаты операций и процедур по решению Z_k также представляют собой сообщения для первого партнера. Этот случай имеет место при взаимодействии человека и ЭВМ, поэтому в

дальнейшем ограничимся рассмотрением понимания сообщений двумя РС, решающими одну и ту же ЗВ_к.

Такая постановка, по нашему мнению, проще более общей постановки проблемы понимания, когда смысл сообщения устанавливается реципиентом относительно естественного языка в целом.

Упрощающими моментами в нашем случае являются: связь смысла сообщений с ЗВ_к; возможность проверки *j*-й РС понимания *i*-й системой сообщения, принятого последней от *j*-й РС; *i, j=1,2*.

Свидетельством понимания *i*-й РС сообщений *j*-й системы является:

- а) для вопросов — правильные ответы РС_{*i*} на вопросы РС_{*j*};
 - б) для информативов — правильные ответы РС_{*i*}, принявшей информативу или повествовательный текст, на вопросы РС_{*j*} по этому тексту; правильное решение *i*-й системой учебных задач, связанных с принятым текстом; адекватная переформулировка или объяснение текста;
 - в) для императивов — правильный отчет о выполнении *i*-й системой операций и процедур, заданных в императивах *j*-й системы.
- Во всех трех указанных случаях понимание *i*-й системой сообщений *j*-й системы проверяется *j*-й системой, т. е. *j*-я система решает здесь соответствующую задачу контроля.

Отсюда задачей установления понимания (УП_{*ij*}) *i*-й системой сообщения *C_j* *j*-й системы является следующий кортеж:

$$\text{УП}_{ij} = \langle C_j, \text{ЗП}_i, C_i, \text{ЗК}_j \rangle, \quad (4)$$

где ЗП_{*i*} — познавательная задача (подзадача), формулируемая *i*-й системой из сообщения *C_j*, *C_i* — сообщение *i*-й системы, описывающее результаты решения ЗП_{*i*} (ответ, отчет об исполнении) (Вообще говоря, *C_i* может быть не только прямым результатом решения ЗП_{*i*}, но и результатом решения некоторой вспомогательной задачи, например ЗИ_{*i*}, введенной для выявления результата решения ЗП_{*i*}); ЗК_{*j*} — задача контроля, решаемая *j*-й системой.

Решение системой РС, познавательной подзадачи ЗП_{*i*}, входящей в ЗВ_{*k*}, приводит к усовершенствованию знаний этой системы, т. е. к изменению (в частном случае, к расширению) системы знаний

$$K_i^* \subseteq \{ \{U_i^*\}, \{R_u\} \}.$$

Расширение знаний и тезауруса РС_{*j*} может заключаться:

- 1) во включении новых соотношений («строк») в известные отношения, входящие в $\{R_u\}$ или $\{R_r\}$;
- 2) в формировании нового отношения (расширение множества R_v) с одновременной фиксацией имени этого нового отношения по крайней мере в одном из отношений второго порядка из $\{R_r\}$.

Рассмотрим особенности задач контроля, решаемых j -й системой для установления взаимопонимания при обмене различными сообщениями. Пусть C_j — вопрос. Тогда C_i — ответ и результатом решения ZK_j должно явиться заключение о правильности C_i (что будет свидетельствовать о понимании i -й системой вопроса C_j) либо о неправильности C_i . Если PC_j обладает моделями правильных ответов $\{C_{j, \text{прав}}^*\}$, то процедура решения ZK заключается в сравнении C_i с элементами $\{C_{j, \text{прав}}^*\}$. Другой вариант решения ZK_j имеет место в том случае, когда PC_j располагает процедурой доказательства правильности ответа C_i . Наконец, для нерутинных ZK_j предполагается нахождение этой процедуры либо множества правильных ответов. Пусть C_j — команда или императив, а A_i — результат выполнения операции или процедуры, соответствующей императиву C_j . При рассмотрении взаимопонимания партнеров следует различать два случая:

- 1) предмет A_i является знаковой моделью;
- 2) предмет A_i не является знаковой моделью и, принадлежит к внешнему миру.

В первом случае задача контроля $ZK_{\lambda, j}$ является идеально-направленной и ее решение в принципе выполняется так же, как и контроль ответа на вопрос. Во втором случае задача контроля является материально-направленной и для ее решения PC_j должна располагать соответствующими внешними операциями или процедурами первого рода.

Пусть C_j — информатива. Тогда C_i — сообщение (обычно C_i — это сигнал типа «ПОНЯЛ», «ГОТОВО» и т. п.) о понимании, т. е. о том, что познавательная задача ZP_i , сформированная i -й системой на основании текста C_j , решена системой PC_i . Здесь ZK_j имеет сложную структуру:

$$ZK_j = \langle C_j', ZP_i', C_i', ZK_j' \rangle, \quad (5)$$

где C_j' — вопрос, учебная задача по тексту C_j , либо команда типа «ПЕРЕСКАЖИ C_j СВОИМИ СЛОВАМИ». В этом последнем случае ZK_j' в свою очередь превращается во «вложенную» задачу понимания информатива C_j' для j -й системы.

2.5.3. Учение и обучение как процедуры решения задач

Уточним еще раз, какое место занимают учение (самообучение, научение) и обучение в нашей работе. (В английском языке аналогами понятий «учение» и «обучение» являются соответственно learning и teaching.)

Прежде всего учение и обучение входят в число целей взаимодействия двух решающих систем — $\Pi_{\text{уч}}$ и $\Pi_{\text{об}}$. Достижение этих целей зачастую является необходимым условием как передачи задачи от одного партнера к другому, так и ее совместного решения.

Ранее было указано, что одним из условий диалогового взаимодействия между двумя решающими системами может быть выполнение одним из партнеров операций или процедур, направленных на усовершенствование знаний или умений другого партнера. Иначе говоря, одним из условий диалога является управление системой PC_i процессом изучения системой PC_j того, что знает и (или) умеет система PC_i . Таким образом, реализация такой развитой формы взаимодействия человека и ЭВМ, как диалог, требует создания средств, обеспечивающих эффективное учение и обучение партнеров.

И, наконец, в связи с дополнительной целью всего нашего исследования, предусматривающей развитие автоматизированных обучающих систем в сторону их применения для общеобразовательной подготовки, необходимо учитывать и наиболее распространенный в случай обучения, который может быть рассмотрен как обучение PC_j (учащегося, студента) тому, что знает и «умеет» система PC_k (область научного знания, в том числе — ЭВМ) неким посредником PC_i — профессиональным учителем или универсальной обучающей системой. В рамках нашего изложения этот случай относится к непрямому взаимодействию между PC_i и PC_k . При этом между обучаемым PC_j и учителем PC_i может быть прямое взаимодействие.

В соответствии с нашей общей идеей представления процессов взаимодействия в виде процедур решения разного рода задач будем рассматривать и учение как процедуру решения познавательной задачи и связанной с ней задачи контроля. Действительно, результатом всякого учения является перевод объектов из разряда неизвестных для данной PC в разряд известных.

Решение задачи контроля необходимо при учении для того, чтобы убедиться (прямо или косвенно), что неизвестный компонент в актуальном состоянии ЗП действительно стал известным данной «учащейся» PC_j . ЗК может в свою очередь иметь сложную структуру и включать, например, задачу исполнения либо решаться совместно j -й системой и некоторой (контролирующей) i -й системой.

Определение 2. Задача учения (ЗУч) — это пара задач (ЗП, ЗК), где $ЗК = \{ \{ \Pi \}, \{ \Pi_{\text{тр}}, \Pi^*_{\text{тр}} \}, (?M) M(\Pi_{\text{тр}}, \Pi^*_{\text{тр}}) \}$.

При таком определении задачи учения не делается формального различия между решением познавательной задачи чисто учебного («школьного») характера и решением ЗП, направленной на получение

объективно неизвестных знаний, т. е. направленной на научные исследования. Это положение согласуется со взглядами ряда психологов на процесс учения. Например, Дж. Брунер считает, что «...умственная деятельность везде является той же самой, на переднем ли фронте науки или в третьем классе школы... Школьник, изучающий физику, является физиком, и для него легче изучать науку, действуя подобно ученому-физику...». А. И. Уемов пишет: «...процесс усвоения содержания науки в своей основе происходит с помощью тех же форм мышления, что и его развитие» .

Подход к усовершенствованию знаний как к процессу решения задач характерен не только для указанных работ по психологии, но и для работ по искусственным решающим системам. Т. Виноград указывает, что «...программа должна подходить к восприятию новой информации как к решению проблем, а не как к канцелярской работе».

Задача контроля, входящая в ЗУч, может быть отнесена:

- а) к той же РС_j, которая должна решать и ЗП_j;
- б) как к РС_j, так и к некоторой РС_i, контролирующей результат решения ЗП_j;
- в) только к контролирующей РС_i. В этом случае ЗУч = <ЗП_j, С_j, ЗК_i>, где С_j — сообщение системы РС_j, содержащее результат решения ЗП_j.

При рассмотрении учения естественно расширить понятие познавательной задачи, введенное ранее, и включить в предмет П познавательной задачи ЗП не только компоненты из подсистемы знаний РС U* и ее тезауруса, но и ее умения РС, т. е. компоненты из множества операций $\{\sigma\} = \{\Theta\} \cup \cup \{\omega\}$ и процедур $\{\Sigma\} = \{\Theta\} \cup \{\Omega\}$.

Определение 3. Тренировкой назовем учение, включающее процедуры решения таких познавательных задач, предмет которых включает операции и (или) процедуры и которые направлены на усовершенствование и расширение множества операций и (или) процедур некоторой решающей системы.

Следует отметить важность различий между умениями первого и второго рода, составляющих предмет познавательных задач. Умения и знания, соответствующие операциям $\{v\}$ и процедурам $\{\Theta\}$ второго рода, являются обобщенными умениями и знаниями, важность овладения которыми подчеркивается во многих работах по педагогике. Овладение умениями и знаниями второго рода является важным компонентом общеобразовательной подготовки, а умениями первого рода — компонентом профессиональной специализации.

Причиной возникновения и решения ЗУч зачастую являются так называемые учебные задачи.

Определение 4. Учебной задачей назовем систему

$УЗ = \{ЗМ, ЗП, ЗК, R_{мп}, РС, \}$, где ЗМ — задача-модель, т. е. модель, как правило, той задачи, которую РС_j будет решать или решает в своей «профессиональной» деятельности; обычно ЗМ — это упрощенная модель реальных задач; ЗП — познавательная задача; $R_{мп}$ — отношение (типа связи) между результатом решения ЗМ и ЗП. Суть $R_{мп}$ состоит в том, что если РС_j решит задачу ЗМ, то с определенной вероятностью будет решена и ЗП, т. е. в РС_j сформируются знания и (или) умения, предусматриваемые требуемым состоянием ЗП. Пусть $M_{акт}$ и $M_{тр}$ — актуальные и требуемые состояния некоторой задачи-модели ЗМ, $P_{акт}$, $P_{тр}^*$ и $P_{тр}$ — актуальное состояние, требование и результат решения связанной с ЗМ познавательной задачи ЗП. Пусть $T_{зк}$ — требуемое состояние задачи контроля, входящей в пару с ЗП, в некоторой задаче учения ЗУч. Тогда решение ЗУч, причиной возникновения которой послужила задача-модель ЗМ, может быть представлено с помощью рис. 9.

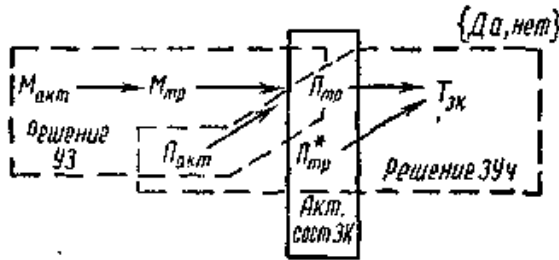


Рис. 2.

Из рис. 9 наглядно видно, как задача учения пересекается по ЗП с вызвавшей ее учебной задачей.

Вероятностное отношение $R_{мп}$ для этого случая имеет вид

$R_{мп}$	$M_{тр}$	$P_{акт}$	$P_{тр}$	Вероятность
----------	----------	-----------	----------	-------------

Если $ЗМ_k$ — модель некоторой задачи $З_k$, то дополнительным компонентом $УЗ_k$ может быть модельное отношение $R_{мп}$, определяющее связь $ЗМ_k$ с $З_k$.

Уточним виды формулировок задач учения, для чего обратимся к языку формализации ЯФ сообщений в процедурах взаимодействия двух решающих систем.

Определение 5. Формулы $(!y)f(y)$ и $(?y)f(y)$ есть формулировки задач учения, если у является:

а) моделью требуемого состояния познавательной задачи и (или) задачи контроля, входящих в пару $\langle ЗП, ЗК \rangle$;

б) моделью требуемого состояния задачи-модели ЗМ и (или) познавательной задачи, входящих в учебную задачу (УЗ).
 Здесь у для формул вопросов и императивов может быть объектом или отношением, постоянным или переменным, т. е. $y = \{x, X, A, R\}$.
 Раскроем выражение $УЗ_j$, являющееся определением учебной задачи:

$$УЗ = \{\{ЗМ, ЗП\}, R_{мп}\} = \{\{M, M_{акт}, M_{тр}^*\}, \{П, П_{акт}, П_{тр}^*\}, \\ R_{мп}\} = \{\{M, П, R_{мп}\}, \{M_{акт}, П_{акт}\}, \{M_{тр}^*, П_{тр}^*\}\}.$$

Отсюда видно, что в учебной задаче компонентой под вопросом или императивом может быть: $M_{тр}^*$, что соответствует случаю, когда учение является побочным продуктом решения учебной задачи; $M_{тр}^*$, $П_{тр}^*$ — учение является прямым результатом решения учебной задачи. Дополнительными компонентами формулировки задачи учения могут быть правила, примеры — описания объектов и отношений, некоторым образом связанные с компонентой y , находящейся под вопросом или императивом, и помогающие обучаемому ответить на вопрос или выполнить императив. Если обозначить высказывания, описывающие эти правила и примеры через $f_1(y)$, то формулировка задачи учения с дополнительными компонентами примет вид

$$\Phi ЗУч = f_1(y) \& (? y) f(y) \text{ или} \\ \Phi ЗУч = f_1(y) \& (!y) f(y).$$

Определение 6. Обучением назовем процедуру управления учением.

Определение 7. Систему, осуществляющую процедуру управления учением, назовем обучающей системой (ОбС).

Обычно в соответствии с процедурой обучения обучающая система:

- 1) формирует обучаемой системе познавательные задачи ЗП, задачи-модели ЗМ и (или) задачи контроля ЗК;
- 2) осуществляет совместное с обучаемой РС решение задачи контроля и (или) задачи модели ЗМ, входящей в учебную задачу;
- 3) задает — самостоятельно или совместно с обучаемой РС — отношение $R_{уч}$ между парами $\langle ЗП, ЗК \rangle$ (в частности, последовательность пар задач $\langle ЗП, ЗК \rangle$, решаемых обучаемой РС) и др.

Определение 8. Если процедура управления учением либо ее существенные компоненты осуществляются некоторым техническим устройством, то такая ОбС является автоматизированной обучающей системой (АОС).

В соответствии с принятым ранее разделением операций и процедур на операции и процедуры первого и второго рода процедуру управления учением следует отнести к процедурам первого рода, обозначить $\Omega_{об}$, а ее знаковую модель (обучающую программу) — $\Omega_{об}^*$.

Наиболее характерным примером обучающей программы $\Omega^*_{об}$ являются программы для ЭВМ, написанные на одном из языков программирования, ориентированных на автоматизацию обучения. Операторами $\{\omega^*\}$, составляющими $\Omega^*_{об}$, в этих языках являются операторы выдачи текстов (вопросов, команд, учебных задач), операторы приема ответов обучаемого, операторы анализа ответов (например, оператор сравнения ответа с эталонным правильным ответом) и др.

Другим видом $\Omega^*_{об}$ являются обучающие программы, записанные на естественном языке и представляющие собой квазиалгоритмы, выполняемые человеком.

И в первом, и во втором случае $\Omega^*_{об}$ соответствует расширенному понятию программы решения абстрактной задачи, введенному нами ранее.

Основными компонентами обучающей программы, т. е. модели процедуры управления обучением $\Omega_{об}$, являются:

- 1) множество моделей $\{PC^*_{ji}\}$ состояний обучаемой системы PC_j;
- 2) множества $\{\PhiЗУч\}$ формулировок задач учения;
- 3) множество отношений $\{R_{уч}\}$, определенных на множествах $\{PC^*_{ji}\}$ и $\{\PhiЗУч\}$.

Характерными примерами $R_{уч}$ являются следующие отношения:

$$R_{уч, 1}$$

$\{\PhiЗУч\}$	$PC^*_{ji, нач}$	$PC^*_{ji, кон}$
Φ_1 Φ_2	M_1 M_2	M_2 M_3

$$R_{уч, 2}$$

ВЫХОД	ВХОД
M_1 M_2 M_3	M_2 M_3 M_4

Отношение $R_{уч,1}$ определяет воздействие, оказываемое на обучаемого каждой формулировкой задач учения из $\{\PhiЗУч\}$, отношение $R_{уч,2}$ — последовательность достижения целей обучения, промежуточных и конечных. В отношении $R_{уч,2}$ домены ВЫХОД и ВХОД определены на $PC^*_{ji,нач}$ и $PC^*_{ji,кон}$, входящих в отношение $R_{уч,1}$. Значения домена ВЫХОД, которые не встречаются в домене ВХОД, характеризуют начало обучающей программы и соответственно начальный уровень подготовки обучаемого $PC^*_{ji,0}$, определяемый, например, по претесту. Значения домена ВХОД, которые не встречаются в домене ВЫХОД, характеризуют заключительные (поглощающие) состояния обучающей программы и соответственно цели $\Pi_{об}$ обучения. Естественно считать, что программа $\Omega^*_{об}$ формируется, а соответствующая ей процедура $\Omega_{об}$ осуществляется в процессе решения обучающей и (или) обучаемой системой некоторой задачи

обучения (ЗО). При этом ЗО может рассматриваться как определенный вид задачи вообще, к которому вполне применимы общезадачные положения, развитые нами ранее.

Определение 9. Задачей обучения j -й системы i -й системой назовем множество $\Pi_{уч}$

$$ЗО_{ji} = \{ \langle \{ЗП_j, ЗК_j\}, \Pi_{уч}, PC_j \rangle, PC_{ji}^*, \Pi_{об}, PC_i \},$$

где PC_{ji}^* — модель начального состояния или уровня подготовки обучаемого, имеющаяся у обучающей системы PC_i ; $\Pi_{об}$ — цель обучения партнера, имеющаяся у PC_i ; $\Pi_{уч}$ — цель учения, имеющаяся у PC_j .

Предметом $ЗО_{ji}$ также, как и предметом $\{ЗП_j\}$, могут быть: знания $U_i^* \cup U_j^*$; умения $\{\sigma_i\} \cup \{\sigma_j\}$, $\{\Sigma_i\} \cup \{\Sigma_j\}$ и общие $\{v\}$ или $\{\Theta\}$, и специальные $\{\omega\}$ или $\{\Omega\}$; компоненты $З_k$, внешней по отношению к PC_i и PC_j (включая план P_k , программу Ω_k^* и процедуру Ω_k решения $З_k$); язык обмена сообщениями между PC_i и PC_j .

Если сопоставить компоненты обучающей программы и соответствующей ей задачи обучения, то видно, что обучающая программа, по сути, замещает множество задач учения $\langle \{ЗП_j, ЗК_j\}, PC_j \rangle$ множествами $\{ФЗУч\}$ и $\{PC_{ji}^*\}$ (за исключением тех элементов $\{ФЗУч\}$, которые являются началом обучающей программы, соответствующим PC_{ji}^* , и ее заключительными состояниями, соответствующими $\Pi_{об}$).

2.5.4. Передача задачи партнеру

Рассмотрим сначала процедуру передачи задачи партнеру без учета мотивов передачи, т. е. без оценки эффективности Θ_k решения $З_k$ инициатором взаимодействия и его партнером.

Пусть инициатор взаимодействия PC_j осуществила изменение $З_k$ в $ЗВ_k$ и сформировала сообщение $C_{j,l}$ своему партнеру PC_i . С учетом изложенного ранее это сообщение имеет вид

$$C_{j,l} = \Phi З_k \& И_{п},$$

где $И_{п}$ — императив передачи $З_k$ партнеру, а $\Phi З_k$ — ее формулировка, которая может описывать не только обязательные компоненты задачи (K , $K_{акт}$ и $K_{тр}^*$), но и дополнительные компоненты типа плана, программы ее решения и др. В противном случае императив $И_{п}$ имеет вид $(!K_{тр}^*) PC_i (\Phi З_k)$ — «РЕШАЙ $З_k$ ». Возможен вариант «РЕШАЙ $З_k$ И РЕЗУЛЬТАТ СООБЩИ МНЕ» и т. п.

Процедура передачи задачи системой PC_j системе PC_i представлена на рис. 3.

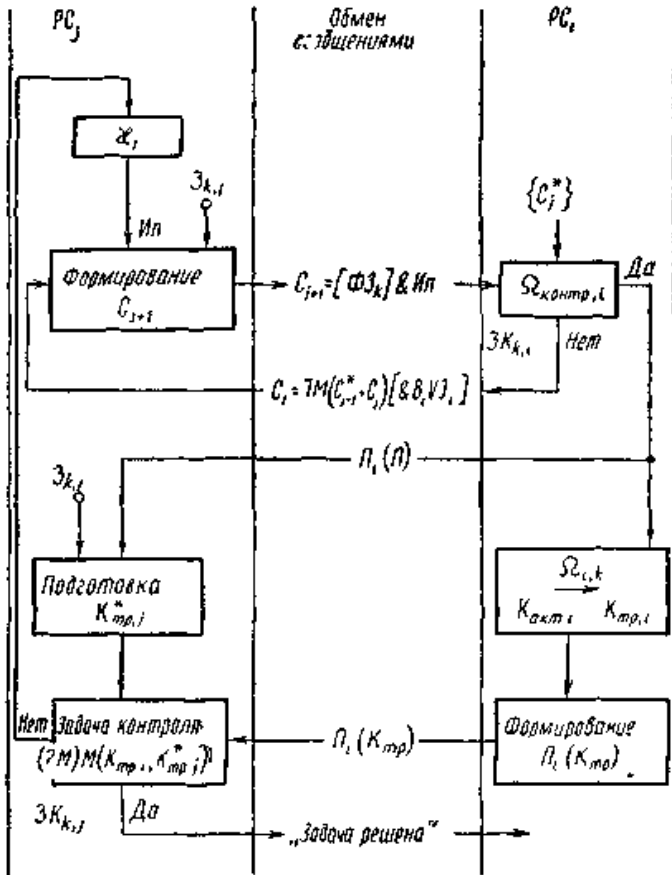


Рис.2.

На этом рисунке $\Pi_i(K_{тр})$ — информатива, содержащая результат решения задачи Z_k ; C_i — сообщение о результатах проверки $C_{j,i}$; $C_{j,i}$ — вопрос или императив, где компонентой под вопросом или императивом является компонента ФЗ_k; $\Pi_i(\Pi)$ — информатива или сигнал («ПОНЯЛ», «ГОТОВО»), служащая для обобщенного выражения понимания i -й системой сообщения $C_{j,i}$; $ZK_{k,i}$ — задача контроля i -й системой сообщений j -й системы (в частности, сообщений типа $C_{j,i}$); $ZK_{k,j}$ — задача итогового контроля результатов решения Z_k , отнесенная к инициатору взаимодействия PC_j .

Передача Z_k может включать в качестве передач:

- 1) задачи установления понимания между партнерами, в которой первыми компонентами кортежа УП (см. выражение (4)) являются $C_{j,1}$, C_i , C_j или $\Pi_i(K_{\text{тр}})$;
- 2) задачи учения, отнесенные к PC_j и направленные на усвоение этой системой знаний и умений, необходимых для решения Z_k ;
- 3) задачи обучения PC_j , отнесенные к PC_i .

Если сообщение $C_{j,1}$ делится инициатором взаимодействия на несколько сообщений, каждое из которых вызывает ответное сообщение i -й системы типа Π_i или C_i , то такая передача Z_k называется пошаговой. Пошаговая передача, как правило, имеет место при прямом взаимодействии партнеров.

Проанализируем теперь процедуру собственно взаимодействия между PC_j и PC_i при мотивированной передаче Z_k j -й системой i -й системе.

В отличие от простой передачи при мотивированной передаче инициатор диалога должен дополнительно решить подзадачу сравнительной оценки (ПСО) эффективности \mathcal{E}_k решения Z_k своими силами ($\mathcal{E}_{k,j}$) и партнером ($\mathcal{E}_{k,i}$). При этом показателем эффективности \mathcal{E}_k являются время, стоимость, точность решения Z_k .

Обратимся к выражению (1), представляющему задачу взаимодействия ZV_k . Компоненты $PC_{jj,k}^*$ и $PC_{ij,k}^*$ задачи взаимодействия характеризуют представления PC_j о возможностях j -й и i -й системы по решению Z_k . В простейшем случае эти компоненты, являющиеся актуальным состоянием подзадачи сравнительной оценки, отнесенной к PC_j , либо операндами оператора κ_j достаточны для получения $\mathcal{E}_{k,j}$ и $\mathcal{E}_{k,i}$.

Тогда процедура мотивированной передачи, дополнительно к компонентам процедуры простой передачи, должна предусматривать:

- 1) решение подзадачи сравнительной оценки, в том числе выполнение оператора κ_j , направленное на получение $\mathcal{E}_{k,j}$ и $\mathcal{E}_{k,i}$;
- 2) включение в состав $C_{j,1}$ информативы $\Pi(\mathcal{E}_k)$, характеризующей мотивы передачи Z_k i -й системе. (Если задача передается одним субъектом другому, то объяснение последнему причин (мотивов) такой передачи в целом благоприятно влияет на процесс решения Z_k .)

Мотивы передачи Z_k могут быть сообщены i -й системе и в ответе C_j на соответствующий вопрос i -й системы. При этом область определения компоненты под вопросом u должна включать и оценки \mathcal{E}_k (помимо объектов, входящих в FZ_k и являющихся областью определения u в случае простой передачи).

Если первоначальные модели $PC_{jj,k}^*$ и $PC_{ij,k}^*$ достаточны для формирования оценок $\mathcal{E}_{k,j}$ и $\mathcal{E}_{k,i}$, то соответствующая операция κ_j или процедура выполняется при формировании задачи взаимодействия ZV_k (см. выражение (1)).

Если модель $PC_{ij,k}^*$ недостаточна для получения $\mathcal{E}_{k,i}$, то процедура мотивированной передачи должна предусматривать вопросы B_j и (или) императивы I_j , направленные на уточнение этой модели.

Как передача мотивов, так и формирование оценки $\mathcal{E}_{k,i}$ на основе ответов i -й системы зачастую происходит пошаговым образом (при прямом взаимодействии партнеров).

Передача Z_k вычислительной машине имеет место в тех случаях, когда: ЭВМ (PC_i) располагает программой $\mathcal{Q}_{k,i}^*$ решения Z_k ; программа $\mathcal{Q}_{k,i}^*$ является компонентом сообщения $C_{j,1}$ (входит в FZ_k).

Практически важным мотивом передачи Z_k партнеру (помимо повышения эффективности \mathcal{E}_k) является стремление повысить надежность за счет применения параллельной процедуры решения \mathcal{Q}_k , когда оба партнера одновременно выполняют одни и те же операции по решению Z_k . При этом облегчается также решение инициатором диалога задачи контроля результата решения Z_{k,s_j} .

Наконец, важным мотивом передачи является изменение относительно неразрешимой для PC_j задачи в относительно разрешимую для PC_i .

2.5.5. Совместное решение задачи

Как мы уже говорили, характерным признаком совместного решения Z_k является разбиение подзадач ее составляющих на два подмножества $\{PZ_{k,j}\}$ и $\{PZ_{k,i}\}$, причем первое подмножество относится к PC_j , второе — к PC_i .

Передача Z_k подразумевает, что по крайней мере один из партнеров может решить эту задачу самостоятельно. Взаимодействие типа совместного решения позволяет получить результат $K_{тр}$ и в том случае, когда ни один из партнеров в отдельности не располагает достаточными средствами решения Z_k ; достаточным является объединение этих средств. Другими словами, при совместном решении задача Z_k , относительно неразрешимая для PC_j и PC_i в отдельности, становится относительно разрешимой для $PC = PC_j \cup PC_i$.

Процедура совместного решения состоит из:

- 1) процедур решения задач, входящих в $\{PZ_{k,j}\}$ и $\{PZ_{k,i}\}$;
- 2) процедуры распределения функций между PC_j и PC_i , т. е. процедуры разбиения Z_k на $\{PZ_{k,j}\}$ и $\{PZ_{k,i}\}$.

В соответствии с моделью PC , рассмотренной ранее, основными типами подзадач $\{PZ_{k,j}\}$ и $\{PZ_{k,i}\}$ здесь являются:

- 1) подзадачи первого рода, решение которых обеспечивается операторами и процедурами первого рода;

2) подзадачи второго рода, которые направлены на получение задачной системы Z_k , императивов, определяющих стратегию решения Z_k плана P_k и программы Ω_k^* решения Z_k .

Одним из типичных статических планов $P_{Вк}$ совместного решения Z_k является план, предусматривающий решение всех задач $\{PZ_{k,j}\}$ до решения всех подзадач $\{PZ_{k,i}\}$ и наоборот. Примером является разработка пользователем всей программы решения задачи до ее проверки и исполнения на ЭВМ.

Пошаговое совместное решение предусматривает решение множества пар подзадач $\{<PZ_{k,j}, PZ_{k,i}>\}$. Здесь возможно как статическое, так и динамическое распределение функций между PC_j и PC_i . Примером пошагового совместного решения со статическим распределением функций является режим реального времени, реализованный в специализированных системах программирования.

Если процедуры решения некоторого множества подзадач $\{PZ_{k,ji}\} = \{PZ_{k,j} \cap PZ_{k,i}\}$, отнесенных к PC_j и PC_i , выполняются одновременно, то имеет место совместное и параллельное решение Z_k^{\wedge} .

Если при совместном решении Z_k процедуру распределения функций осуществляет инициатор взаимодействия PC_j , то для передачи каждой из подзадач множества $\{PZ_{k,j}\}$, рассматриваемой как отдельная задача, справедливы положения, приведенные ранее. Сообщения типа $C_{j,i}$, направляемые инициатором взаимодействия партнеру, должны содержать (в $PZ_{k,i}$) результаты решения подзадачи, предшествующей данной.

В случае решения i -й системой подзадачи $PZ_{k,i}$ второго рода этот результат, входящий в $C_{j,i}$, является задачной системой, стратегией или планом решения Z_k . При этом компонентой под императивом в сообщении $C_{j,i}$ является один из объектов, следующих за $K_{тр,j}$: если $K_{тр,j} = \Omega_k^*$, то под императивом будет $K_{тр}$ исходной задачи Z_k ; если $K_{тр,j} = P_k$, то под императивом будет Ω_k^* или $K_{тр}$ и т. д.

2.5.6. Диалоговое взаимодействие человека и ЭВМ

Используя «задачные» понятия и категории, введенные ранее, уточним определение диалога человека и ЭВМ.

Определение 10. Диалог человека и ЭВМ — это такая разновидность прямого взаимодействия двух решающих систем (т. е. разновидность режима разделения времени) при решении Z_k , в которой имеет место по крайней мере:

а) наличие целей $C_{п}$, $C_{ср}$, $C_{уч}$, $C_{об}$ или $C_{вып}$ у пользователя (PC_i) и у ЭВМ (PC_j);

б) осуществление процедуры $\Omega_{Вк}$ управления взаимодействием как пользователем, так и ЭВМ, т. е. $\Omega_{Вк} = \{ \Omega_{Вк,j} \cup \Omega_{Вк,i} \}$;

в) выполнение каждым из партнеров хотя бы одной из операций $\{v\}$ либо процедур, соответствующих такой операции;

г) по крайней мере один из партнеров, например $РС_i$, выполняет процедуру обучения $\Omega_{об,j,i}$, направленную на усовершенствование знаний и умений другого партнера ($РС_j$).

Перечисленные особенности диалога являются «поведенческими», т. е. такими, которые могут наблюдаться в протоколе взаимодействия $РС_j$ и $РС_i$.

К структурным особенностям системы, «способной к диалогу», следует также отнести и средства для решения задач установления понимания ($УП_{i,j}$), т. е. средства для решения ЗП_i, инициированных партнером, и ЗК_j, направленных на контроль знаний и (или) умений партнера после решения им ЗП_i.

2.5.7. Конфликты между партнерами при диалоговом взаимодействии

Эффективность диалогового решения Z_k может существенно меняться в зависимости от того, согласованы ли между собой цели партнеров. Назовем конфликтом такое сочетание целей партнеров, при котором решение Z_k невозможно либо некоторый показатель эффективности ее решения ниже установленного минимального значения. Для выделения возможных конфликтов рассмотрим различные распределения целей $Ц_{п}$, $Ц_{ср}$, $Ц_{уч}$ и $Ц_{об}$ между двумя партнерами.

А. Случай $Ц_{ср,i} = Ц_{ср,j}$ является наиболее благоприятным для эффективного решения Z_k . Процесс совместного решения Z_k не исключает возникновения таких ситуаций, когда обе РС будут стремиться отказаться от решения какой-либо подзадачи Z_k . Но такая ситуация здесь всегда будет разрешаться благоприятно, так как над обеими РС довлеет главная цель — совместное решение. Для разрешения таких локальных конфликтов решающие системы могут провести вспомогательный обмен сообщениями.

Б. Пусть $РС_i$ имеет целью обучение $РС_j$. Для обеспечения успешного взаимодействия эта главная цель должна включать в себя в качестве подцели такую модель $Ц_{уч,j}^*$ цели учения $РС_j$, которая совпадает с $Ц_{уч,j}^*$. Например, пусть $Ц_{об,i}$ есть «Научить языку ФОРТРАН в полном объеме». Тогда $Ц_{уч,j}$ в самом благоприятном случае должна быть: «Изучить язык ФОРТРАН в полном объеме».

Интересно отметить, что не всегда в начале взаимодействия

$\Pi_{уч,j} = \Pi^*_{уч,ji}$. Например, пользователь РС_j вышел на ЭВМ для решения своей задачи на каком-либо языке программирования (возможно, ФОРТРАНе), имея, таким образом, некую цель $\Pi_{ц}$ и $\Pi'_{уч,j}$, причем $\Pi'_{уч,j} \cap \Pi^*_{уч,ji} \neq \emptyset$ (он хочет изучить язык программирования, но не в полном объеме). Хорошая обучающая программа $\Omega^*_{об,ji}$ должна доказать ему преимущества решения этой задачи на ФОРТРАНе, заинтересовать его этим языком, побуждая его тем самым к формированию у него цели $\Pi_{уч,j} = \Pi^*_{уч,ji}$. Если РС_i этого сделать не смогла и будет продолжать действия по реализации обучающей программы, в которой $\Pi^*_{уч,ji} \neq \Pi_{уч,i}$, то это приведет к конфликту и, скорее всего, к прекращению взаимодействия.

Другой вариант конфликта при обучении возможен в том случае, когда РС_j видит, что учат ее не тому, что соответствует действительности. Не соглашаясь с РС_i, она формирует свою подцель $\Pi_{об,j}$ и начнет учить учителя.

В процессе «переобучения» обучающая программа ($\Omega^*_{об,ji}$) может как принять от РС_i, обучающий материал, так и отвергнуть его, если он будет противоречить каким-то неоспоримым истинам.

В. Передача задачи Z_k возможна, если принимающая ее РС_i «хочет» принять эту задачу, т. е. у нее имеется цель $\Pi_{вып,i}$. Этому благоприятному для решения задачи случаю противостоит такой:

$\Pi_{ц,j} \cap \Pi_{ц,i}$. Здесь налицо конфликт, именуемый в быту «спихотехникой».

Готовность приема задачи одной из РС, не должна быть безусловной.

У всякой автономной РС_i (так же как и у РС_j) должна существовать глобальная цель: экономия своих ресурсов. При взаимодействии человека и ЭВМ приоритет целей человека над целями ЭВМ не всегда является оправданным.

3. Обобщенный решатель задач распознавания: архитектура, применение, развитие

3.1. Эпистемологическая иерархия систем распознавания

*Философию можно не замечать,
но уйти от нее нельзя, и те, кто
ее игнорирует, больше всего
от нее зависят.*
Дейвид Хокинс

Эпистемологические типы систем познания, рассматриваемые в схеме ОРЗР, включают исходные системы и их компоненты (объектные системы, конкретные и общие представляющие системы), системы данных, порождающие системы (системы с поведением или ST-системы), структурированные системы различных типов и уровней. Кроме того, каждый из этих системных типов может быть как направленным, так и нейтральным.

Эпистемологические типы систем в ОРЗР можно частично упорядочить. Рассмотрим два типа систем, например x и x' , и будем считать, что системный тип x эпистемологически ниже системного типа x' тогда и только тогда, когда:

- 1) для любой заданной системы типа x' существует единственная процедура, основанная исключительно на этой системе и использующая всю имеющуюся в ней информацию, с помощью которой при подходящих начальных и других соответствующих условиях получается хотя бы одна система типа x ;
- 2) не существует процедуры, с помощью которой только из заданной системы типа x можно получить единственную систему типа x' , т. е. всегда есть некоторая неопределенность и, следовательно, некоторая степень произвола при определении системы типа x' из системы типа x .

Пусть для двух данных эпистемологических системных типов x и x'

$$x \leq x'$$

означает, что тип x эпистемологически ниже типа x' . Тогда пара

$$\mathcal{H}_i = (\mathcal{E}_i \prec),$$

где \mathcal{E}_i обозначает множество всех эпистемологических типов систем ОРЗР (как нейтральных, так и направленных), таких, что общее число

уровней структурированных систем и метасистем в любом системном типе не превышает l , определяет эпистемологическую иерархию в системе ОРЗР ($l \in \mathbf{N}$).

Для каждого $l \in \mathbf{N}$, \mathcal{H}_l — полурешетка. Только при рассмотрении гомогенных структурированных систем или метасистем \mathcal{H}_l состоит из

$$|\mathcal{E}_l| = 3 (2^{l+1} - 1)$$

элементов. В качестве примера на рис. 1 показан случай $l=2$.

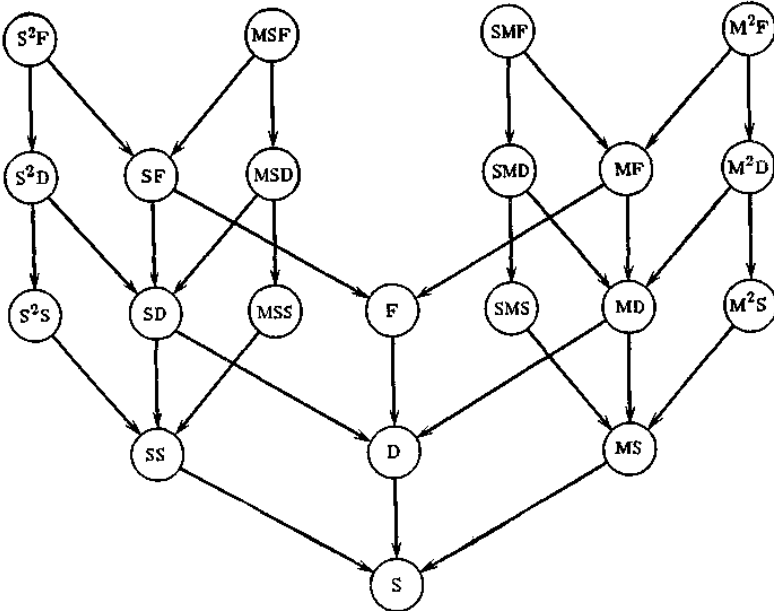


Рис. 1. Полурешетка эпистемологических типов систем в ОРЗР, где число структурированных систем комбинируемых типов и метасистем для любой системы не превышает двух $\mathcal{H}_2 = (\mathcal{E}_2, \leq)$

В табл.1 определена полурешетка \mathcal{H}_l при произвольных конечных l (с учетом ограничения условия гомогенности структурированных систем и метасистем). Обозначения

$$(S^s M^m)_l X,$$

$$(M^m S^s)_l X$$

используются соответственно для последовательностей

$$S^s_1 M^m_1 S^s_2 M^m_2 \dots S^s_l M^m_l X,$$

$$M^m_1 S^s_1 M^m_2 S^s_2 \dots M^m_l S^s_l X,$$

где X обозначает системный тип, а j, s_i, m_i ($i \in N_q$) — некоторые натуральные числа; допускается случай, когда $m_j=0$ в первой и $s_j = 0$ во второй последовательностях, и S^0X, M^0X интерпретируется как X . Необходимо, чтобы

$$\sum_{i \in N_j} (s_i + m_i) \leq l$$

Таблица 1.

Эпистемологическая иерархия, полурешетка типов систем в ОРЗР: $\mathcal{H}_l = (\varepsilon_l \triangleleft)$

Тип системы	Непосредственный преемник в полурешетке
S	Нет
D	S
F	D
$(S^{s_i}M^{m_i}) / S$	$(S^{s_i-1}M^{m_i}) / S$ для определенного i $(S^{s_i}M^{m_i-1}) / S$ для определенного i
$(S^{s_i}M^{m_i}) / D$	$(S^{s_i-1}M^{m_i}) / D$ для определенного i $(S^{s_i}M^{m_i-1}) / D$ для определенного i $(S^{s_i}M^{m_i}) / S$
$(S^{s_i}M^{m_i}) / F$	$(S^{s_i-1}M^{m_i}) / F$ для определенного i $(S^{s_i}M^{m_i-1}) / F$ для определенного i $(S^{s_i}M^{m_i}) / D$
$(M^{m_i}S^{s_i}) / S$	$(M^{m_i-1}S^{s_i}) / S$ для определенного i $(M^{m_i}S^{s_i-1}) / S$ для определенного i
$M^{m_i}S^{s_i} / D$	$(M^{m_i-1}S^{s_i}) / D$ для определенного i $(M^{m_i}S^{s_i-1}) / D$ для определенного i $(M^{m_i}S^{s_i}) / S$
$(M^{m_i}S^{s_i}) / F$	$(M^{m_i-1}S^{s_i}) / F$ для определенного i $(M^{m_i}S^{s_i-1}) / F$ для определенного i $(M^{m_i}S^{s_i}) / F$

3.2. Методологические отличия

*Слишком сильное обобщение ведет к бессмыслице.
Наиболее плодотворным является достаточно
сильное обобщение, ограниченное, по счастью,
конкретными реалиями.
Альфред Норт Уайтхед*

Каждый класс систем, характеризующийся неким эпистемологическим типом, будет в дальнейшем классифицироваться с помощью соответствующих ему методологических отличий. Суть методологических отличий состоит в том, чтобы при решении задач распознавания отличать системы, требующие применения различных методов.

Существенной проблемой архитектуры ОРЗР является выбор соответствующих методологических отличий для различных эпистемологических типов систем. Выбор можно начинать с наиболее общих методологических отличий, соответствующих различным системным свойствам, и продолжать по мере конкретизации. Желательно упорядочить результирующие методологические отличия в зависимости от степени конкретизации. Поскольку всегда комбинируется несколько категорий, то результирующее упорядочение является только частичным.

На архитектурном уровне желательно выделить основные категории методологических различий и свести их к небольшому набору важных и наиболее общих отличий для каждой категории. Но в то же время в архитектуре ОРЗР должна учитываться возможность расширения этих множеств в различных реализациях ОРЗР.

В связи с отдельными эпистемологическими типами систем вводятся методологические отличия, которые считаются достаточно значимыми, чтобы выделить их в архитектуре ОРЗР. Список категорий этих существенных отличий приведен в табл. 2. Каждая категория характеризуется системным свойством, для которой она определена, списком индивидуальных методологических отличий, эпистемологическими типами систем, к которым они приложимы, примерами возможных расширений.

Таблица 2.

Сводка важнейших методологических отличий, рассматриваемых на одном уровне архитектуры ОРЗР

Характеристика системы	Методологические отличия	Эпистемологические типы систем	Варианты возможного развития
Переменные	Нейтральные Направленные	Все	Смешанные
Каналы наблюдения	Четкие Нечеткие	Все	Смешанные
Множества состояний и параметрические множества	Без свойств	Все	Интервальные шкалы
	Содержательные комбинации свойств упорядочения, расстояния и непрерывности		Рациональные шкалы Другие шкалы
Данные	Полностью определенные	D или XD	
	Не полностью определенные С несущественными элементами		
	Четкие	D или XD	Смешанные
	Нечеткие	D или XD	Смешанные
Маска	Периодические	D или XD	
	Апериодические		
	Без памяти	F или XF	Компактная
	С памятью		—
Ограничивающая функция	Функция поведения ST-функция	F или XF	
Функция поведения или ST-функция	Детерминированная	F или XF	Основаны на других подмножествах нечетких мер
	Вероятностная Возможностная		
Элементы структурированных систем	Согласованные Несогласованные	SXF	—

X обозначает последовательность операторов S и M, F - порождающие системы любых типов

3.3. Условия задачи распознания

*Как только задача четко сформулирована,
решить ее обычно достаточно просто.*

Роберт Розен

Условия задачи распознания определяют задачи на множестве распознаваемых систем. В каждом условии рассматривается либо одна система, либо пара систем. Аналогично тому, как системы классифицируются в соответствии с их типами, так и условия классифицируются по типам. При правильном определении любой тип условий должен быть таким, чтобы изменения отдельных условий, принадлежащих этому типу, не приводили к изменению методологии.

Хотя конкретные условия задачи распознания так же, как и их типы, имеют смысл только для отдельных типов систем, можно в общем случае выделить четыре широкие категории условий задачи распознания. Каждое условие может быть либо требованием ответа на *вопрос*, либо требованием удовлетворить *запрос*, либо требованием достижения *цели*, либо требованием удовлетворить какому-либо *ограничению*. В одной задаче распознания может быть скомбинировано несколько условий, т. е. одна или больше целей могут быть скомбинированы с одним или несколькими ограничениями.

Как уже было отмечено, в ряде случаев ОРЗР должен предоставить пользователю возможность сделать свой собственный выбор конкретных условий в пределах каждого выделенного типа условий. Как только тип условия определен, что может быть сделано только в контексте заранее определенных одного или двух типов систем, можно предложить пользователю *определить его собственный выбор* конкретного варианта этого типа. Если он не воспользуется этой возможностью, то ОРЗР должен предложить ему *меню подходящих вариантов*, один из которых объявлен как *вариант по умолчанию*. Если пользователь все же не выберет ни один из них, то в ОРЗР должен использоваться именно этот вариант. На уровне архитектуры для каждого типа системы или пары типов желательно зафиксировать только ограниченное множество типов существенных условий. Предполагается, что это начальное множество будет постепенно в процессе развития ОРЗР расширяться.

Типы условий задач распознания нельзя определить отдельно от типов познаваемых систем, к которым они применяются. Каждый из них вместе с рассматриваемым типом системы образует тип задачи. Таким образом, типы условий могут быть определены только как части типов

задач распознавания. Наиболее важные типы условий перечислены в следующем разделе.

3.4. Задачи распознавания

Необходимо ради справедливости признать, что никогда научная жизнь не будет уже такой безоблачной и спокойной, как в дни, когда безраздельно царствовал детерминизм. Образовавшиеся теперь перед нами пустоты и наш тяжелый труд частично компенсируются пониманием того, что наш подход к решению наиболее важных задач стал более реалистичным и продуктивным.

Ричард Беллман

Распознаваемые системы и условия, относящиеся к этим системам, образуют задачи распознавания. Поэтому их естественно классифицировать в соответствии с рассмотренной классификацией систем и типов условий.

В ряде задач распознавания может распознаваться одна-единственная система. Назовем эти задачи распознавания, имеющие вид вопроса или условия относительно каких-либо свойств данной системы, *элементарными задачами распознавания*. Например, для данной конкретной ST-системы можно сформулировать следующий вопрос: всегда ли можно получать из одного состояния другое состояние? — или в качестве альтернативы можно потребовать для каждой пары состояний список кратчайших последовательностей преобразований одного состояния в другое.

Для каждого из рассматриваемых типов систем необходимо обеспечить наиболее понятную работу ОРЗР с элементарными задачами распознавания. Одно из наиболее значимых подмножеств элементарных задач распознавания состоит из *тестов на противоречивость (корректность)* для определенных распознавателем систем. Сюда, например, относятся проверка необходимых свойств рассматриваемых вероятностных или возможных распределений, всевозможных условий совместимости и т. п. Эти тесты должны выполняться ОРЗР автоматически в процессе формулирования распознавателем задачи для каждой, определяемой распознавателем системы. Если какие-то тесты не выполняются,

система должна быть отвергнута как некорректная, а распознавателю сообщены причины.

Все задачи распознавания, не входящие в категорию элементарных, содержат две или более систем. Задачи распознавания, содержащие две системы, в ОРЗР явно определены и описаны методологически; назовем их *базовыми задачами распознавания*. Все остальные задачи распознавания, содержащие более двух систем, формулируются и рассматриваются в терминах соответствующих последовательностей базовых и элементарных задач распознавания.

Базовые задачи распознавания классифицируются по типам задач. Каждый из них состоит из упорядоченной пары типов систем и множества типов условий, применимых к этим типам систем. Поскольку при решении задачи распознавания всегда приходят от некоторых заданных объектов к неким распознаваемым объектам, то порядок типов систем неразрывно связан с этим направлением. Первый из двух типов систем рассматривается как общее описание *начальной системы*, т. е. системы, заданной в конкретной задаче распознавания данного типа. Второй тип описывает класс систем решения; назовем их *терминальными системами*. В соответствии с функцией терминальных систем можно выделить два вида задач распознавания.

Для задач распознавания первого вида существует следующая каноническая формулировка. Для данной конкретной начальной системы типа z определяются такие терминальные системы типа z' , для которых выполняются данные требования (связанные с системными типами z и z'). Таким образом, решение задач первого вида — это множество конкретных систем типа z' .

Для задач распознавания второго вида имеется другая каноническая формулировка. Для данной конкретной начальной системы типа z и конкретной терминальной системы типа z' определяется некоторое свойство терминальной системы, специфицированное заданными требованиями относительно начальной системы. Таким образом, решением задачи распознавания второго вида является то, что связывает две данные системы.

Примером задач распознавания первого вида является задача получения из заданной системы данных всех порождающих систем, удовлетворяющих требованиям максимальной согласованности, минимальной сложности и порождающей неопределенности, маски которых являются подмасками определенной наибольшей допустимой маски. Этот тип задач распознавания показан на рис. 2.

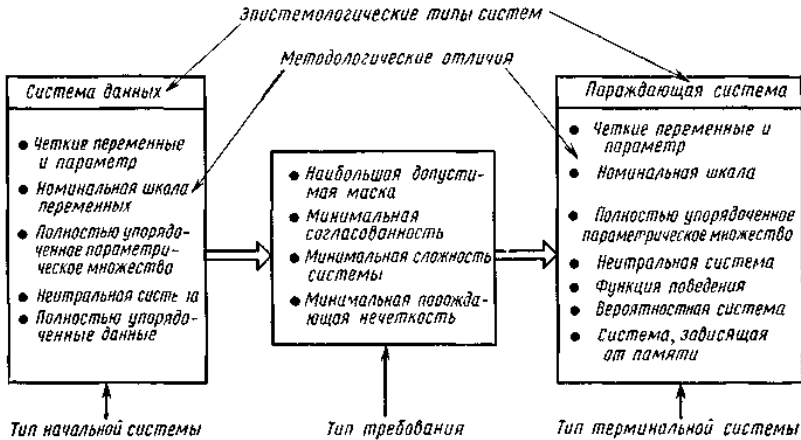


Рис. 2 Пример базового типа задач первого вида

Примером задач второго вида является задача определения изменения характеристики систем с поведением, обусловленного некоторыми конкретными переменными. В этом типе задач (рис. 3) некоторое свойство начальной системы представляет собой цель, а характеристики терминальной системы отдельно и вместе с этими переменными сравниваются с точки зрения заданной характеристической функции.

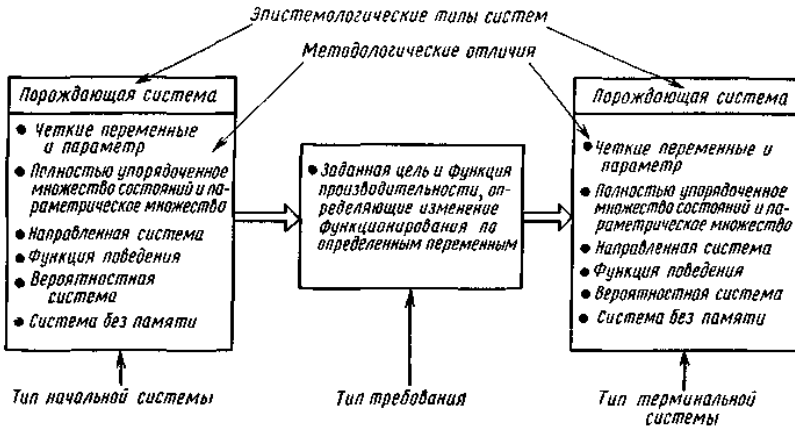


Рис. 3. Пример базового типа задач второго вида

На рис. 4 показаны категории задач распознавания, составляющие ядро ОРЗР.

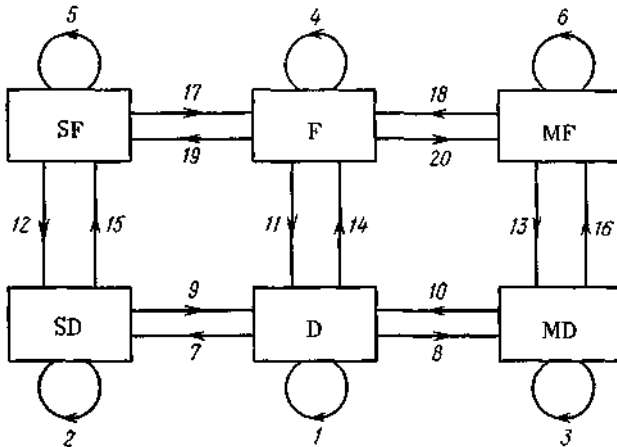


Рис. 4. Ядро ОРЗР: важнейшие категории задач распознавания

Каждая категория задач характеризуется эпистемологическими типами входящих в нее систем; на рисунке это показано стрелками, помеченными числами. Категории задач распознавания образуют кластеры типов задач распознавания. Каждая категория содержит типы задач распознавания, имеющих особые методологические отличия, но содержащие одни и те же пары эпистемологических типов систем.

Некоторые основные типы задач распознавания, показанные на рис. 4, могут быть определены либо явно, либо как части более крупных задач распознавания. Ниже приводится классификация задач распознавания по категориям.

Очевидно, что категории 1—6 содержат все простейшие типы задач распознавания, связанные с отдельными эпистемологическими типами систем, но также и многие базовые типы задач распознавания. В частности, они содержат следующие классы базовых типов:

- различные типы задач распознавания, связанные с упрощением систем;
- различные типы задач распознавания, связанные с отношением моделирования между системами;
- различные типы задач распознавания, в которых системы определенного эпистемологического уровня сравниваются по некоторому критерию, например по их сложности, характеристике относительно различных целей, потере информации и т. п.

Категории 7 и 8 содержат типы задач распознавания, в которых в соответствии с определенными критериями данные разбиты относительно рассматриваемых переменных или параметрического множества.

Категории 9 и 10 состоят из типов задач распознавания, в которых полная система данных определяется соответственно из элементов структурированных систем или метасистем. Они, например, включают типы задач распознавания, в которых требуется разрешать несогласованности в данных.

Категории 11—13 содержат различные типы задач распознавания, в которых данные порождаются эпистемологически более высокими типами систем при определенных начальных и других условиях. Во всех задачах этих категорий ОРЗ используется в качестве средства при компьютерном моделировании.

Категория 14 состоит из типов задач распознавания, в которых порождающие системы получены из заданных систем данных при определенных типах требований. Обычно требуется, чтобы результирующая порождающая система основывалась исключительно на масках, не превышающих определенную наибольшую допустимую маску, а порожденные ими данные полностью соответствовали имеющимся данным и чтобы их порождаемые неопределенности и сложности были минимизированы. Эти задачи могут быть дополнены другими требованиями, такими, как дальнейшие ограничения на результирующие порождающие системы или критерии оптимизации, представленные как конкретные отношения предпочтения, определенные на соответствующем множестве порождающих систем. Сюда также относятся задачи распознавания, связанные с введением внутренних переменных.

Категории 15 и 16 состоят, в основном, из тех же типов задач распознавания, что и категория 14, но каждая отдельная задача распознавания должна быть повторена для всех элементов данной структурированной системы данных или метасистемы данных.

Категория 17 содержит типы задач распознавания, связанных с определением семейств реконструкций, однозначных реконструкций, основанных на различных типах требований, и других вопросах.

Категорию 18 составляют типы задач распознавания, связанных с моделированием порождающих систем метасистемами различных методологических типов.

Категория 19 включает различные типы декомпозиционных задач распознавания, решаемых при проектировании систем, а также некоторые задачи реконструкции.

Категория 20 содержит все типы задач распознавания, связанные с идентификацией параметрических требований, обусловленных изменениями связей между переменными данной порождающей системы.

Для большинства задач распознавания, имеющих наибольшее практическое значение, требуется решение последовательности базовых и простейших типов задач распознавания. Например, задачи реконструкции представляют собой последовательность задач из категорий 4, 5, 17, 19; для некоторых типов задач проектирования необходимо решение задач из категорий 11, 14, 17, 19; ряд задач компьютерного моделирования включает задачи из категорий 11 и 17 или 11 и 18 и т. д.

3.5. Концептуальная схема ОРЗР

Когда философ вводит новый способ описания действительности, он сразу сталкивается с тем, что его предшественники рассматривали как целое то, что он подразделяет на части, или что они выделяли составляющие из того, что в его системе именуется как целое. Вселенная представляется чем-то напоминающим сыр, ее можно разрезать бесконечным множеством способов — и когда кто-то выберет свой способ разрезания, он обнаруживает, что другие режут неправильно.

Кеннет Берк

Следующие определения связывают прилагательные «идентифицируемый» и «допустимый» с понятиями «система», «условие», «задача». Назовем систему, условие или задачу *идентифицируемыми*, если их можно сформулировать на языке ОРЗР; назовем их *допустимыми*, если они идентифицируемы и их можно рассматривать в контексте конкретной реализации ОРЗР. Кроме того, назовем задачу *решаемой*, если она допустима и может быть решена с помощью методологических средств, доступных в конкретной реализации ОРЗР. Эти прилагательные относятся к конкретным системам, условиям и задачам распознавания, а также к их типам.

Обозначим \mathcal{X} множество всех *допустимых эпистемологических типов систем*. Тогда

$$\mathcal{X} \subset \mathcal{E},$$

где \mathcal{E} обозначает множество всех идентифицируемых эпистемологических системных типов. Обычно

$$\mathcal{X} \subseteq \mathcal{E}_1$$

при некотором фиксированном $l \geq 1$, где \mathcal{S}_l ($l \in \mathbf{N}$) — это множество всех идентифицируемых эпистемологических системных типов, в которых общее число структурированных систем меньше или равно l . Обозначим \mathcal{Y} множество допустимых типов методологических отличий, и пусть \mathcal{Z} — это множество всех допустимых типов систем. Тогда

$$\mathcal{Z} \subset \mathcal{X} \times \mathcal{Y};$$

\mathcal{Z} — собственное подмножество $\mathcal{X} \times \mathcal{Y}$, поскольку некоторые методологические отличия неприменимы ко всем эпистемологическим типам систем. Обозначим \mathcal{P} множество всех допустимых систем (т. е. конкретных систем, а не системных типов). Тогда \mathcal{Z} индуцирует разбиение

$$\mathcal{P} / \mathcal{Z} = \{\mathcal{P}_z \mid z \in \mathcal{Z}\}$$

на \mathcal{P} , где \mathcal{P}_z — множество всех допустимых систем типа z . Пусть

$$s_{z,i} \in \mathcal{P}_z \quad (z \in \mathcal{Z}).$$

Тогда $s_{z,i}$ — допустимая система типа z , идентифицированная (отличающаяся от других систем типа z) идентификатором i .

Обозначим \mathcal{R}_z множество всех допустимых типов требований, применимых к одной системе типа z , а $\mathcal{Q}_{z,z'}$ — множество всех допустимых типов требований, применимых к паре систем типов z и z' . Тогда мы можем определить

$${}^1\mathcal{Q} = \bigcup_{z \in \mathcal{Z}} \mathcal{Q}_z$$

и

$${}^2\mathcal{Q} = \bigcup_{z, z' \in \mathcal{L}} \mathcal{Q}_{z,z'}.$$

Очевидно, что множество

$$\mathcal{Q} = {}^1\mathcal{Q} \cup {}^2\mathcal{Q}$$

состоит из всех допустимых типов требований.

Обозначим \mathcal{R}_z множество всех допустимых требований (т. е. конкретных требований, а не типов требований), применимых к одной системе типа z . Тогда \mathcal{Q}_z индуцирует разбиение

$$\mathcal{R}_z / \mathcal{Q}_z = \{\mathcal{R}_{z,j} \mid \mathcal{Q}_z, j \in \mathcal{Q}_z\}$$

на \mathcal{R}_z , где $\mathcal{R}_{z,j}$ — множество допустимых требований типа j , применимых к одной системе типа z . Пусть

$$r_{z,j,u} \in \mathcal{R}_{z,j},$$

т. е. $r_{z,j,u}$ — допустимое требование типа j , применимое к одной системе типа z и однозначно определенное идентификатором u .

Обозначим $\mathcal{R}_{z,z'}$ множество всех допустимых требований, применимых к паре систем типов z и z' . Тогда $\mathcal{Q}_{z,z'}$ индуцирует разбиение

$$\mathcal{R}_{z,z'} / \mathcal{Q}_{z,z'} = \{ \mathcal{R}_{z,z',k} \mid \mathcal{Q}_{z,z',k} \in \mathcal{Q}_{z,z'} \}$$

на $\mathcal{R}_{z,z'}$, где $\mathcal{R}_{z,z',k}$ — множество всех допустимых требований типа k , применимых к паре систем типов z и z' . Пусть

$$\mathbf{r}_{z,z',k,u} \in \mathcal{R}_{z,z',k},$$

т. е. $\mathbf{r}_{z,z',k,u}$ обозначает допустимое требование типа k , применимое к паре систем типов z и z' и однозначно определенное идентификатором u . Введенные понятия допустимых систем, требований и их типов позволяют определить допустимые задачи и их типы. Обозначим соответственно ${}^1\mathcal{P}$ и ${}^2\mathcal{P}$ множество всех допустимых типов элементарных задач и множество всех допустимых типов базовых задач. Тогда

$$\begin{aligned} {}^1\mathcal{P} &= \{ (z, \mathcal{Q}_{z,i}) \mid z \in \mathcal{Z}, \mathcal{Q}_{z,i} \in \mathcal{Q}_z \}, \\ \mathcal{P} &= \{ (z, z', \mathcal{Q}_{z,z',i}) \mid z, z' \in \mathcal{Z}, \mathcal{Q}_{z,z',i} \in \mathcal{Q}_{z,z'} \}, \end{aligned}$$

а

$$\mathcal{P} = {}^1\mathcal{P} \cup {}^2\mathcal{P}$$

— множество всех допустимых типов задач. Хотя в выражении для ${}^2\mathcal{P}$ может быть тем же типом системы, как и z' , они используются для двух различных систем в каждой конкретной базовой задаче. Это является отличием базовых задач от элементарных, в каждой из которых рассматривается только одна конкретная система.

В результате описания типов требований в множестве $\mathcal{Q}_{z,z'}(z, z' \in \mathcal{Z})$ множество ${}^2\mathcal{P}$ разбивается на два подмножества ${}^{21}\mathcal{P}$ и ${}^{22}\mathcal{P}$ базовых типов задач соответственно первого и второго видов. Следовательно,

$$\mathcal{P} = {}^1\mathcal{P} \cup {}^{21}\mathcal{P} \cup {}^{22}\mathcal{P}.$$

Множество \mathcal{Z} индуцирует разбиение

$${}^1\mathcal{P} / \mathcal{Z} = \{ {}^1\mathcal{P}_z \mid z \in \mathcal{Z} \}$$

на ${}^1\mathcal{P}$, где ${}^1\mathcal{P}_z$ — множество всех допустимых типов элементарных задач, применимых к системам типа z . Аналогично множество \mathcal{Z}^2 индуцирует разбиение

$${}^2\mathcal{P} / \mathcal{Z}^2 = \{ {}^2\mathcal{P}_{z,z'} \mid z, z' \in \mathcal{Z} \}$$

на множестве ${}^2\mathcal{P}$, где ${}^2\mathcal{P}_{z,z'}$ — множество всех допустимых типов базовых задач, применимых к паре систем типов z и z' . Аналогичные разбиения можно определить на множествах ${}^2\mathcal{P}$ и ${}^{22}\mathcal{P}$. Отметим, что множества ${}^1\mathcal{P}_z$ и ${}^2\mathcal{P}_{z,z'}$ являются категориями задач в том смысле, как это показано на рис. 4.

Обозначим ${}^1\mathcal{P}\mathcal{P}$ множество всех допустимых простейших задач. Тогда множество ${}^1\mathcal{P}$ индуцирует разбиение

$${}^1\mathcal{P}\mathcal{P}/{}^1\mathcal{P} = \{ {}^1\mathcal{P}\mathcal{P}_{z,i} \mid z \in \mathcal{Z}, \mathbf{q}_{z,i} \in \mathcal{Q}_z \}$$

на ${}^1\mathcal{P}\mathcal{P}$, где ${}^1\mathcal{P}\mathcal{P}_{z,i}$ — множество всех допустимых элементарных задач, определенных для одной системы типа \mathbf{z} , и требования типа $\mathbf{q}_{z,i}$. Обозначим ${}^2\mathcal{P}\mathcal{P}$ множество всех допустимых базовых задач.

Тогда множество ${}^2\mathcal{P}$ индуцирует разбиение

$${}^2\mathcal{P}\mathcal{P}/{}^2\mathcal{P} = \{ {}^2\mathcal{P}\mathcal{P}_{z,z',k} \mid \mathbf{z}, \mathbf{z}' \in \mathcal{Z}, \mathbf{q}_{z,z',k} \in \mathcal{Q}_{z,z'} \}$$

на ${}^2\mathcal{P}\mathcal{P}$, где ${}^2\mathcal{P}\mathcal{P}_{z,z',k}$ — множество всех допустимых базовых задач, определенных в терминах пары систем типов \mathbf{z} и \mathbf{z}' и требования типа $\mathbf{q}_{z,z',k}$. Каждое множество ${}^2\mathcal{P}\mathcal{P}_{z,z',k}$ в дальнейшем разбивается на подмножества базовых задач первого и второго вида, обозначаемые соответственно ${}^{21}\mathcal{P}\mathcal{P}_{z,z',k}$ и ${}^{22}\mathcal{P}\mathcal{P}_{z,z',k}$. Тогда

$${}^{21}\mathcal{P}\mathcal{P} = \bigcup {}^{21}\mathcal{P}\mathcal{P}_{z,z',k},$$

$${}^{22}\mathcal{P}\mathcal{P} = \bigcup {}^{22}\mathcal{P}\mathcal{P}_{z,z',k},$$

где объединения множеств взяты по всем $\mathbf{z}, \mathbf{z}' \in \mathcal{Z}$, а $\mathbf{q}_{z,z',k} \in \mathcal{Q}_{z,z'}$ — множества всех базовых задач, соответственно, первого и второго видов.

Теперь можно формально описать три основных типа допустимых задач:

элементарные задачи, обозначаемые ${}^1p_\alpha$, имеют вид

$${}^1p_\alpha = (\mathbf{s}_{z,i}, \mathbf{r}_{z,i,i}),$$

где α — однозначный идентификатор четверок $(\mathbf{z}, \mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{u})$.

Базовые задачи первого вида, обозначаемые ${}^{21}p_\beta$, описываются так:

$${}^{21}p_\beta = (\mathbf{s}_{z,i}, \mathbf{z}', \mathbf{r}_{z,z',k,u}),$$

где β — уникальный идентификатор пятерок $(\mathbf{z}, \mathbf{i}, \mathbf{z}', \mathbf{k}, \mathbf{u})$.

Базовые задачи второго вида, обозначаемые ${}^{22}p_\gamma$, описываются следующим образом:

$${}^{22}p_\gamma = (\mathbf{s}_{z,t}, \mathbf{s}_{z',t}, \mathbf{r}_{z,z',k,u}),$$

где γ — уникальный идентификатор шестерок $(\mathbf{z}, \mathbf{i}, \mathbf{z}', \mathbf{t}, \mathbf{k}, \mathbf{u})$

Обозначим $\mathcal{P}\mathcal{P}$ множество всех допустимых задач, определяемых ОРЗР. Тогда

$$\mathcal{P}\mathcal{P} \subset ({}^1\mathcal{P}\mathcal{P} \cup {}^{21}\mathcal{P}\mathcal{P} \cup {}^{22}\mathcal{P}\mathcal{P})^*,$$

где звездочка обозначает множество всех последовательностей, которые могут быть образованы элементами множества. Аналогично определяется множество \mathcal{P} всех допустимых типов задач ОРЗР:

$$\mathcal{P} = ({}^1\mathcal{P} \cup {}^{21}\mathcal{P} \cup {}^{22}\mathcal{P})^*,$$

где $1\mathcal{P}$, $21\mathcal{P}$, $22\mathcal{P}$ — конечные множества элементарных и базовых типов задач.

Теперь ясно, что на глобальном уровне концептуальная схема ОРЗР может рассматриваться как язык для описания допустимых типов задач распознавания, алфавит которого состоит из всех допустимых простейших и базовых типов задач распознавания, определяемых в свою очередь, основными эпистемологическими и методологическими типами систем и типами требований.

3.6. Анализ архитектуры ОРЗР

Секрет успешного формирования окружающей нас среды — а это и есть цель архитектора — состоит в том, чтобы позволить человеческому фактору стать определяющим. Архитектура требует убежденности и авангардизма. Нельзя принять решение на основании желания заказчиков или опросов Института Гэллупа, которые обычно только изъявляют желание продолжить то, что всем хорошо известно.

Вальтер Гропиус

Назначение архитектуры заключается в определении, тщательном описании тех функций проектируемого искусственного объекта (будь то здание, механизм или экспертная система), которые необходимы для достижения заданной цели. Ранее с различной степенью детализации обсуждались выбор и описание основных функций ОРЗР, цель которого состоит в том, чтобы пользователь, обладающий экспертными знаниями, смог решать задачи распознавания. Цель настоящего раздела — дать сжатый и исчерпывающий обзор этих функций. На рис. 5 показана блок-схема, которую читателю рекомендуется использовать как руководство при чтении следующего описания.

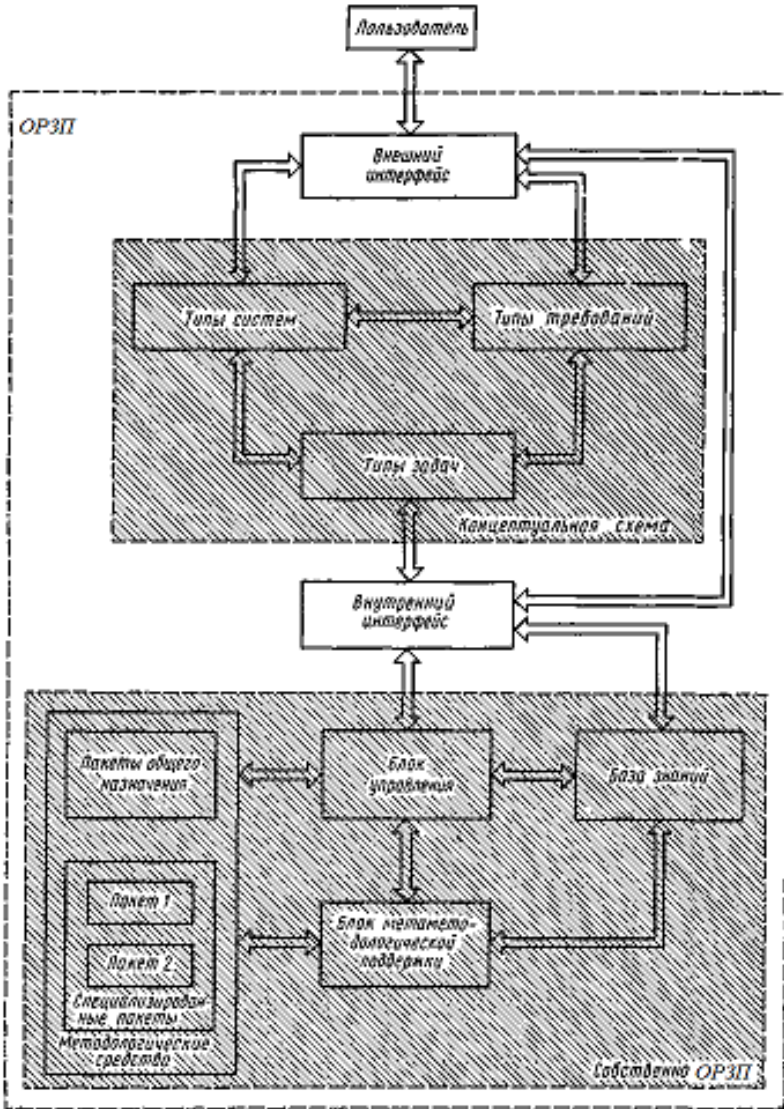


Рис. 5. Схема архитектуры ОРЗП

Концептуальная схема кратко описанная в разд. 3.5, является ядром ОРЗП. Она представляет собой язык, используемый в ОРЗП для описания выделенных типов систем, требований и задач. Когда речь

идет об архитектуре, то как указывается в разд. 3.1, фиксируется только эпистемологическая иерархия системных типов. Остальные понятия, такие, как типы требований или методологические отличия систем, описываются в архитектуре ОРЗР только в самых общих терминах. Более точное их описание является предметом конкретной реализации ОРЗР, базирующейся на конкретном множестве системных типов, каждый из которых определяется совокупностью эпистемологических и методологических особенностей, а также конкретными множествами типов требований и, как следствие, типами задач распознавания; они называются *допустимыми типами систем*, требований и задач (т. е. они допустимы для данной реализации ОРЗР).

Как было показано в разд. 3.5, содержательные типы задач распознавания образованы последовательностями простейших и базовых типов задач распознавания. Последние, в свою очередь, образованы системными типами и типами требований, являющихся совместимыми в том смысле, что они могут быть применимы друг к другу. Таким образом, три основные категории, образующие концептуальную схему ОРЗР: системные типы, типы требований и типы систем — взаимосвязаны. На рис. 5 это показано двусторонними связями между соответствующими блоками.

Концептуальная схема — это лингвистическая среда, в которой пользователь общается с ОРЗР, состоящим из соответствующей базы знаний, множества метаметодологических средств, а также блока управления. Связь *пользователь — ОРЗР* двусторонняя, и с каждой стороны снабжена соответствующим интерфейсом. Назовем интерфейс со стороны пользователя *внешним интерфейсом*, а со стороны ОРЗР — *внутренним интерфейсом*.

Выделим два типа внешнего интерфейса, каждый из которых может быть включен в конкретную реализацию ОРЗР. Первый спроектирован в расчете на *опытного пользователя*, который в достаточной степени знаком с концептуальной схемой ОРЗР и ограничениями той реализации ОРЗР, которую он собирается использовать. Этот тип интерфейса основан на предположении, что пользователь не нуждается в помощи при формальном определении его систем и требований, и, следовательно, единственная функция интерфейса состоит в проверке на возможные несоответствия в формулировках пользователя.

Другой тип внешнего интерфейса спроектирован в расчете на *обычного пользователя*, чье знание концептуальной схемы ОРЗР является недостаточным. Функция этого интерфейса состоит не только в проверке возможных несоответствий в формулировках пользователя, но и в том, чтобы предоставить пользователю широкий спектр услуг

при формулировании его задачи распознавания. Это означает, что внешний интерфейс должен содержать соответствующие *процедуры опроса* для идентификации типов систем и требований, а также конкретных систем и требований заданных типов. Такие процедуры могут оказаться очень сложными (а может быть, и совершенно нереальными) при условии, что пользователь ничего не знает о концептуальной схеме ОРЗР. Поэтому представим себе, что в любых реализациях ОРЗР, доступных, по крайней мере, в ближайшем будущем, от обычного пользователя будет требоваться некоторое *минимальное знание концептуальной схемы ОРЗР*. Эти минимальные сведения можно сделать стандартной частью любого руководства по ОРЗР.

Упомянутые процедуры опроса, позволяющие провести идентификацию и являющиеся важным элементом внешнего интерфейса ОРЗР, могут быть усовершенствованы на различных уровнях в зависимости от того минимального знания концептуальной схемы ОРЗР, которое требуется от пользователя. Чем меньше знаний, тем более сложными и менее совершенными становятся процедуры. В предельном случае, когда не требуется никаких знаний, создание удачных процедур опроса является главной исследовательской проблемой. Затронутые вопросы изучаются в области искусственного интеллекта.

Собственно ОРЗР состоит из четырех функциональных элементов: множества методологических средств, базы знаний, блок метаметодологической поддержки и блока управления. Все понятия ОРЗР представлены в ОРЗР в некотором стандартизованном виде, что осуществляется посредством внутреннего интерфейса. Понятно, что такой блок как база знаний, а также методологические и метаметодологические блоки должны обладать соответствующими стратегиями рассуждения.

Методологические средства — это пакеты методов (и соответствующих компьютерных программ), с помощью которых могут быть решены некоторые из допустимых типов задач распознавания. Они разделяются на **общие и специализированные пакеты**. *Общие пакеты* предназначены для типов задач распознавания, сформулированных в терминах наиболее общих методологических отличий, доступных в данной реализации ОРЗР; *специализированные пакеты* предназначены для всех типов задач распознавания, основанных на менее общих методологических отличиях.

Любое методологическое средство — это множество методов (и соответствующих компьютерных программ) для решения некоторых простейших или базовых типов задач распознавания и процедура

(компьютерная программа), определяющая порядок, в котором отдельные методы должны применяться. Таким образом, методологические средства образуются из общего набора методов (программ), имеющегося для решения допустимых простейших и базовых типов задач распознавания, с помощью процедуры (управляющей программы), применяющей необходимые методы в соответствующем порядке.

В ОРЗР учтены различные метаметодологические соображения. Они реализуются с помощью *метаметодологического блока*. Этот блок содержит информацию об упорядочении всех допустимых задач распознавания, следующей из их общности методологического статуса. Упорядочение по общности отражает, в основном, упорядочение методологических отличий систем и требований. Методологический статус задачи распознавания связан с ее разрешимостью, запросами на время решения и требуемую память, с характеристиками соответствующих методологических средств.

Теоретически неразрешимые задачи распознавания отличаются от задач распознавания, неразрешимость которых обусловлена исключительно ограничениями данной реализации ОРЗР. Если задача распознавания неразрешима в последнем смысле, то возможны два ответа ОРЗР. Во-первых, пользователю могут быть предложены альтернативные формулировки задачи распознавания, основанные на более строгих предположениях и допускающие решение ее с помощью ОРЗР; при этом блок методологической поддержки осуществляет переход от данной методологической парадигмы к более конкретным парадигмам. Во-вторых, может быть вызван блок базы знаний, чтобы предоставить пользователю полезную информацию относительно исходной задачи распознавания, например ссылки на соответствующие библиотеки программ, статьи или книги.

Блок метаметодологической поддержки должен осуществлять необходимый анализ вычислительной сложности каждой конкретной задачи распознавания, для которой в данной реализации ОРЗР имеются средства решения. Если задача распознавания оказывается практически неразрешимой, то этот блок должен, по возможности, выработать альтернативные формулировки задачи распознавания (основанные на более строгих предположениях), которые можно численно реализовать. Кроме того, для каждой задачи распознавания, которая может быть решена данной реализацией ОРЗР, этот блок должен определить приблизительные вычислительные затраты и другие соответствующие характеристики используемого метода.

Как было отмечено выше, *блок знаний* содержит полезную информацию о задачах распознавания, которые не могут быть решены

данной реализацией ОРЗР. И, кроме того, этот блок может содержать другую необходимую информацию о системах и задачах распознания. К ней, например, относятся теоретические или экспериментальные законы, принципы или эмпирические правила науки о системах, такие, как закон необходимого многообразия или закон необходимой иерархии.

Связь пользователя с блоками ОРЗР осуществляется либо через концептуальную схему, либо непосредственно через внешний и внутренний интерфейсы. Первая связь содержит формулировки задач распознания, а вторая связана с различными метаметодологическими подходами и использованием базы знаний.

Необходимая координация работы трех описанных блоков ОРЗР осуществляется *блоком управления*. Им в соответствии с требованиями и другими условиями, в основном принимается решение о том, какой блок и как следует активизировать.

3.7. Примеры использования ОРЗР

Цель этого раздела состоит в том, чтобы привести несколько примеров задач распознания и показать, как их решает ОРЗР. Основное внимание будет уделено примерам, в которых используется более одного методологического средства. Примеры заимствованы из литературы.

Необходимо отметить, что достоверность данных, которые во всех случаях были получены из различных источников, а не непосредственно из опыта, здесь обсуждаться не будет. Цель рассматриваемых примеров—проиллюстрировать потенциальные возможности ОРЗР, а не обсуждать различные вопросы, лежащие вне компетенции ОРЗР, такие как сбор данных и интерпретация результата (чаще всего это предоставляется пользователям ОРЗР, экспертам и др.). С целью упрощения переменные обычно представлены своими идентификаторами (индексами), а подмножества переменных разделены косой чертой (например, рис. 6,б, в).

Пример 1. В этом примере рассматриваются экспериментальные данные, собранные в процессе изучения относительного роста саженцев при различных условиях. Данные были собраны для 960 сливовых деревьев и содержат три бинарные переменных:

v_1 — смертность (0 — живое, 1 — сухое);

v_2 — время посадки (0 — сразу, 1 — весна);

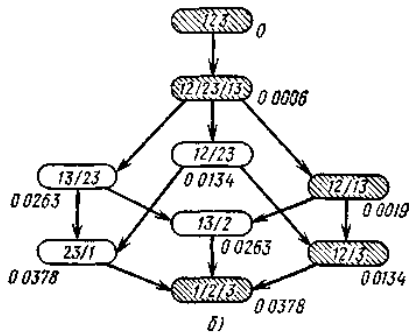
v_3 — обрезка корней (0 — длинная, 1 — короткая).

Данные были собраны при следующих условиях: для 240 деревьев регистрировалось состояние управляемых переменных v_2 и v_3 . Эксперимент предназначался для изучения влияния времени посадки и длины обрезки корней на выживаемость саженцев деревьев.

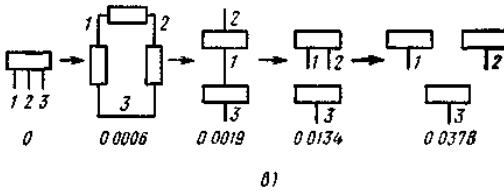
Поскольку все переменные бинарные, то невозможно понизить их разрешающие формы. Число элементов в рассматриваемой группе в 30 раз больше числа состояний переменных; этого вполне достаточно для вероятностного анализа. Поскольку параметрическим множеством является неупорядоченная группа, то исследование ограничено определением функции поведения и проведением анализа ее реконструируемости. На рис. 6,а приведены частоты отдельных состояний переменных и распределение вероятностей соответствующих частот.

v_1	v_2	v_3	$N(c)$	$f(c)$
0	0	0	156	0.162
0	0	1	107	0.111
0	1	0	84	0.087
0	1	1	31	0.032
1	0	0	84	0.087
1	0	1	133	0.139
1	1	0	156	0.162
1	1	1	209	0.218

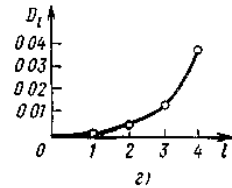
а)



б)



в)



г)

Рис. 6 Приживаемость деревьев (пример 1)

После оценки всех гипотез реконструкции в группе G_3 находим расстояния, которые показаны на рис. 6,б. Гипотезы реконструкции, принадлежащие множеству решений, на рисунке заштрихованы (для полноты картины заштрихована также и полная система). Видно, что нет необходимости в вычислении гипотез реконструкции 23/1 и 13/2, поскольку их расстояния не могут быть меньше наибольших расстояний их предшественников, т. е. меньше 0.0263, и находятся ниже гипотезы 12/3, действительное расстояние которой составляет

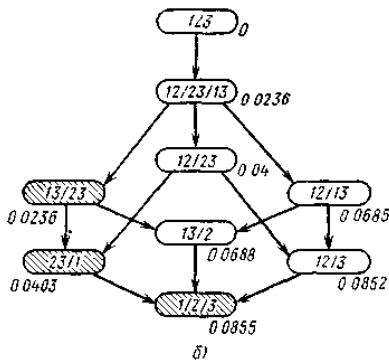
0.0134, и, следовательно, должны быть отвергнуты. Схема элементов множества решений показана на рис. 6,в, а зависимость минимального расстояния гипотезы от уровня уточнения — на рис. 6,г.

На основании приведенных на рис. 6 результатов можно сделать вывод, что на гибель деревьев влияет как время посадки, так и длина обрезки корней, но первый фактор влияет в два раза сильнее. Видно также, что когда речь идет о гибели деревьев, то эти две управляемые переменные являются независимыми

Пример 2. Хотя с методологической точки зрения этот пример мало отличается от примера 1, они совершенно различны в своих семантическом и прагматическом аспектах. В этом примере рассматриваются экспериментальные данные, собранные по наблюдениям 114 мышей (в возрасте 90 дней) при изучении детоубийства (имеется в виду убийство молодых особей своего рода). В экспериментах изучался один из аспектов детоубийства, связанный с половой конкуренцией самцов. Эксперименты проводились с целью проверки гипотезы половой конкуренции, основывающейся на дарвиновском понятии полового отбора, в соответствии с которым самец, совершающий детоубийство, может повысить свои шансы за счет соперника путем убийства отпрыска соперника, а затем спаривания с матерью. Переменными, входящими в эксперименты, здесь являются v_1 — доминантность (0 — доминантный, 1 — подчиненный); v_2 — сексуальный опыт (0 — неопытный, 1 — опытный); v_3 — отношение к отпрыскам соперника (0 — детоубийство, 1 — родительское, 2 — нейтральное).

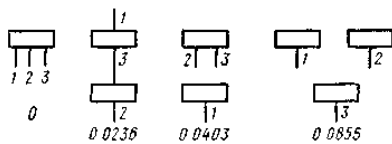
Как и в примере 1, мы можем только определить функцию поведения и выполнить анализ ее реконструируемое. Окончательные результаты, основываемые на вероятностном описании связи между переменными, приведены на рис. 7

$c =$	v_1	v_2	v_3	$N(c)$	$f(c)$
0	0	0	0	28	0.246
0	0	1	4	4	0.035
0	0	2	2	2	0.018
0	1	0	5	5	0.044
0	1	1	25	0.219	
0	1	2	3	0.026	
1	0	0	5	0.044	
1	0	1	9	0.079	
1	0	2	8	0.070	
1	1	0	7	0.061	
1	1	1	15	0.132	
1	1	2	3	0.026	

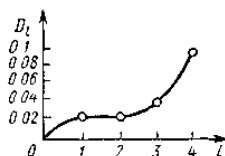


а)

б)



в)



г)

Рис. 7 Инфантицид (пример 2)

Если мы не будем обращать внимание на интерпретацию, то результаты очень похожи на результаты, полученные в примере 1. Можно сделать вывод, что на отношение к отпрыскам соперника влияют и доминантность, и сексуальный опыт (гипотеза 13/23), но последний фактор почти в два раза больше значит (сравните расстояния 23/1 и 13/2). Видно также, что когда исключается подсистема 12, то расстояние действительно не меняется. Следовательно, доминантность и сексуальный опыт независимы.

Пример 3. Этот пример основан на данных, собранных в процессе изучения мнения о жилищных условиях в городе. Было опрошено 1881 квартиросъемщик, проживающие в выбранных районах в домах, построенных в интервале между 1960 и 1968 годами, об их отношении к жилищным условиям, о контактах с другими квартиросъемщиками, мнение об их влиянии на содержание жилья. Одновременно с этим регистрировался тип дома каждого квартиросъемщика. Таким образом, было выделено четыре переменных:

v_1 - тип дома (0 - многоквартирный, 1 - меблированные комнаты, 2 - отдельный дом, дом с общими боковыми стенами);

v_2 - мнение о влиянии на содержание жилья (0 - низкое, 1 - среднее, 2 - высокое);

v_3 - степень контакта с соседями (0-низкая, 1-высокая);

v_4 — степень удовлетворенности жилищными условиями (0 — низкая, 1—средняя, 2— высокая).

Поскольку было зарегистрировано 72 состояния переменных, мы можем определить лексикографическое упорядочение состояний и представить данные в виде последовательности частот $N(c)$, основанного на этом упорядочении. В предположении об упорядочении переменных в виде v_1, v_2, v_3 и v_4 лексикографическое упорядочение единственно, и, следовательно, данные однозначно определяются такой последовательностью частот $N(c)$; 21, 21, 28, 14, 19, 37, 34, 22, 36, 17, 23, 40, 10, 11, 36, 3, 5, 23, 61, 23, 17, 78, 46, 43, 43, 35, 40, 48, 45, 86, 26, 18, 54, 15, 25, 62, 13, 9, 10, 20, 23, 20, 8, 8, 12, 10, 22, 24, 6, 7, 9, 7, 10, 21, 18, 6, 7, 57, 23, 13, 15, 13, 13, 31, 21, 13, 7, 5, 11, 5, 6, 13.

Как и в предыдущих примерах, данные заданы на неупорядоченной группе, и, следовательно, определение маски бессмысленно. Популяция в 23 раза больше, чем число всех состояний переменных. Следовательно, нет необходимости в укрупнении разрешающей формы переменных.

Поскольку методологически этот пример похож на предыдущие, предложим читателю только результаты, полученные с использованием двух вариантов анализа реконструируемости, а их обсуждение и интерпретацию оставим читателю. Эти два варианта используют соответственно вероятностную и возможностную функции поведения. В обоих случаях использовались только C -структуры и на каждом уровне уточнялись только те C -структуры для которых расстояние не превышает 20% от минимального на этом уровне расстояния (см. табл. 3).

Таблица 3

Результаты анализа реконструируемости жилищных условий в городе (пример 3)

а) Вероятностный вариант			б) Возможностный вариант		
I	Структура	Расстояния	I	Структура	Расстояния
1	134/234	0 0030	1	134/234	0 0197
	124/234	0 0045		124/234	0 0235
	123/234	0 0069		123/234	0 0312
	124/134	0 0023**		124/134	0 0182*
	123/134	0 0094		123/134	0 0845
	123/124	0 0023**		123/124	0 0162**
2	13/14/23/24	0 0051	2	13/14/23/24	0 0360*
	124/23	0 0053		124/23	0 0335*
	123/24	0 0077		123/24	0 0408
	124/13	0 0038**		124/13	0 0325**
	123/14	0 0109		123/14	0 0957
	134/24	0 0047		134/24	0 0329*
	124/34	0 0062		124/34	0 0350*
	12/13/24/34	0 0089		12/13/24/34	0 0478
	12/134	0 0110		12/134	0 0973
3	14/13/24	0 0062**	3	14/13/24	0 0487*
	124/3	0 0065*		124/3	0 0454**
	12/13/24	0 0093		12/13/24	0 0585
	12/13/14	0 0124		12/13/14	0 1128
4	14/24/3	0 0089**	4	14/24/34	0 0560
	13/24	0 0104*		13/24/34	0 0693
	14/13/2	0 0136		134/2	0 1095
	12/3/24	0 0120		14/23/24	0 0531*
	12/3/14	0 0151		12/23/24	0 0662
				12/23/14	0 1119
5	1/24/3	0 0131**	5	12/34/24	0 0660
	14/2/3	0 0163		12/34/14	0 1141
	13/2/4	0 0178		13/23/24	0 0678
6	1/2/3/4	0 0205**	6	13/14/23	0 1128
				4	14/3/24
				12/3/24	0 0779*
				12/3/14	0 1237
				13/24	0 0785*
				14/13/2	0 1241
				1/23/24	0 0943
				14/23	0 1296
			5	1/3/24	0 1087**
				14/3/2	0 1427
				12/3/4	0 1492
				13/2/4	0 1530
			6	1/2/3/4	0 1832**

¹ Уточненные структуры помечены звездочкой; уточненные структуры с минимальными расстояниями помечены двумя звездочками

Пример 4. Этот пример содержит описание исследования взаимосвязи политической ситуации и уровня цен на бирже в США (XX в.). Политическая ситуация описывается тремя бинарными переменными: v_1 — политическая партия президента (0 — демократическая, 1 — республиканская); v_2 — партия, контролирующая палату представителей (0 — демократическая, 1 — республиканская); v_3 — партия, контролирующая сенат (0 — демократическая, 1 — республиканская). Характеристика уровня цен на бирже представлена единственной переменной: v_4 — уровень цен на бирже (0 — падает, 1 — растет).

Эти переменные регистрировались в период с 1897 по 1981 год. Весь период разделен на 21 равный интервал в соответствии с четырехлетним периодом нахождения президента у власти. Переменные v_2 и v_3 определяются соответственно большинством в палате представителей и сенате в начале каждого периода.

Очевидно, что исходная система представляет чрезвычайно упрощенное описание рассматриваемых характеристик. Она используется здесь только для иллюстрации того, как ОРЗР может применяться при изучении систем этого вида. Например, можно при желании выделить больше состояний переменной v_4 или разделить рассматриваемый период на временные интервалы (не обязательно равные), отличающиеся друг от друга изменением переменных. Можно рассмотреть некоторые дополнительные политические или экономические переменные, такие, как общая характеристика политической ситуации в стране, инфляция, безработица, падение или рост валового национального продукта и т. д.

В табл. 4 представлены данные, описывающие исходную систему.

Таблица 4.

Матрица данных из примера 4

f	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
v_1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
v_2	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
v_3	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
v_4	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0

Существует много способов использования ОРЗР при обработке данных и получении систем на более высоких эпистемологических уровнях. Вот один из возможных сценариев.

Сначала пользователь захотел определить допустимые маски при $\Delta M = 2$ как для вероятностного, так и для возможностного подходов. Поскольку у него не было никаких определенных требований, то ОРЗР предлагает ему результаты, показанные на рис. 8; они основаны на обычных целевых критериях (порождающая нечеткость и размер маски), реализованных при отсутствии выбора. Рисунок понятен (заштрихованными областями показаны выборочные переменные, связанные с отдельными масками).

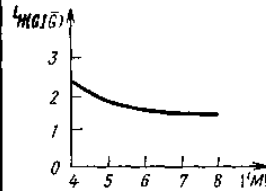
$\rho = -1 \quad 0$

v_1	s_5	s_1
v_2	s_6	s_2
v_3	s_7	s_3
v_4	s_8	s_4

Наибольшая допустимая маска

i	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	i^*M_i	$i^*U(GI\bar{B})$
1	■	■	■	■	■	■	■	■	8	1.42
2	■	■	■	■	■	■	■	□	7	1.42
3	■	■	■	■	■	■	■	■	6	1.56
4	■	■	■	■	■	■	■	■	5	1.77
5	■	■	■	■	■	■	■	■	4	2.43
6	■	■	■	■	■	■	■	■	4	2.43

Вероятностная функция поведения



i	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	i^*M_i	$i^*U(GI\bar{B})$
1	■	■	■	■	■	■	■	■	8	0.4
2	■	■	■	■	■	■	■	□	7	0.4
3	■	■	■	■	■	■	■	■	6	0.53
4	■	■	■	■	■	■	■	■	5	0.72
5	■	■	■	■	■	■	■	■	4	1.27
6	■	■	■	■	■	■	■	■	4	1.27
7	■	■	■	■	■	■	■	■	4	1.27

Возможностная функция поведения

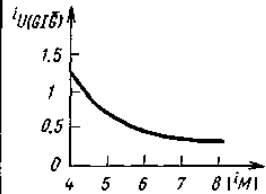


Рис. 8. Оценка масок в примере 4 или $M=2$ (рынок акций и Федеральное правительство США)

Видно, что оба подхода приводят к почти одинаковым множествам допустимых масок, но возможностный подход содержит одну

дополнительную маску для четырех выборочных переменных (маска без памяти). Предварительно пользователь решил выбрать маску с пятью переменными, но при этом хотел быть уверенным в том, что среди допустимых масок нет лучших масок с пятью переменными. Поэтому он запросил допустимые маски при $\Delta M=3$ и $|M|=5$. В результате он получил такую же, как раньше маску, представляющую выборочные переменные s_2, s_3, s_5, s_7, s_8 . Таким образом, выбор этой маски был хорошо обоснован, и пользователь принял ее за основу для дальнейшей работы. Поскольку имеется всего 21 наблюдение и 32 состояния переменных, то пользователь решил осуществить анализ реконструируемости системы с поведением, основывающейся на выбранной маске, только с использованием возможностного подхода. В табл. 5 с использованием тех же обозначений, что и в примере 3, приведены допустимые реконструктивные гипотезы; для удобства выборочные переменные переобозначены, как показано на рис. 9,а.

Таблица 5.

Допустимые реконструктивные гипотезы из примера 4, основанные на маске, определенной на рис. 9,а

l	Структура	D_l
1	1234/1345	0.0
2	123/1345 123/135/124/145 1234/135	0.0097
3	123/135/124	0.0138
4	123/124/35	0.0277
5	124/35/23	0.0333
6	12/35/23/24	0.0579
7	1/35/23/24 12/35/23/4	0.1667
8	1/35/23/4	0.2805
9	1/23/4/5	0.4138
10	1/2/3/4	0.5610

Анализ зависимости D_l от l (рис. 9,б) показывает, что D_l достаточно мало при $l \leq 6$ и значительно возрастает при $l > 6$.

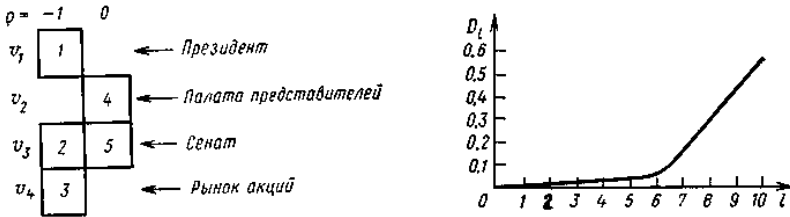


Рис. 9. К таблице 5 (пример 4)

Следовательно, на шестом уровне структура 12/35/23/24 представляется как наиболее информативная реконструктивная гипотеза, т. е. наиболее уточненная в описываемом малыми расстояниями кластере.

Ее блок-схема с указанием соответствующих связей переменных показана на рис. 10.

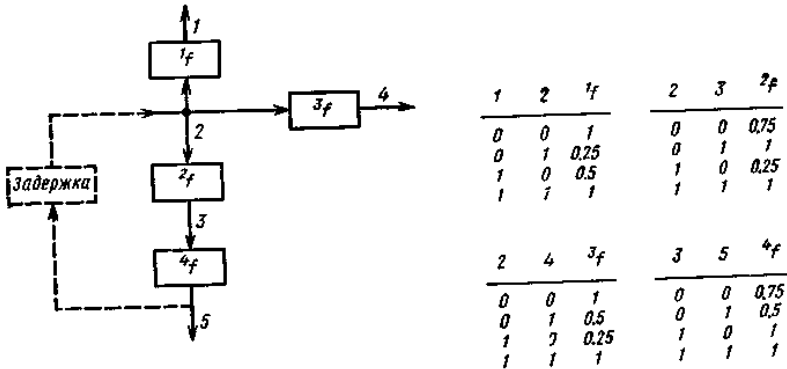


Рис. 10. Основная реконструктивная гипотеза для примера 4 (рынок акций и федеральное правительство США)

Переменная 2, являющаяся единственной порождающей переменной во всей системе, рассматривается как входная переменная для отдельных подсистем; в действительности она определяется предыдущим состоянием переменной 5, а не произвольно зависит от окружающей среды, что и показано на блок-схеме с помощью блока ЗАДЕРЖКА, связывающего эти две переменные. Тогда направления оставшихся переменных определяются единственным образом.

Из допустимых реконструктивных гипотез, приведенных в табл. 5 и особенно из основной гипотезы, показанной на рис. 10, можно сделать некоторые общие выводы.

1. В течение одного периода уровень цен на бирже и большинство в сенате строго взаимосвязаны (видно, что переменные 2 и 3 входят в одну подсистему во всех, кроме последней, допустимых гипотезах).
2. Уровень цен на бирже в течение одного временного интервала строго определяет большинство в сенате в следующем интервале (переменные 3 и 5 становятся несвязанными только на девятом уровне уточнения).
3. Наиболее важной переменной изучаемой системы является большинство в сенате (переменная 2 содержится в трех подсистемах основной гипотезы реконструкции); с той же степенью значимости (сравните допустимые гипотезы на шестом и седьмом уровнях) она связана с партией президента в текущем временном интервале и с партией, контролирующей палату представителей в течение следующего временного интервала.

Более конкретные выводы можно получить из распределений возможностей подсистемы основной гипотезы, показанной на рис. 10 и, возможно, из полной системы, восстановленной из основной гипотезы с использованием различных характеристик реконструкции; полная система может быть получена при соответствующем обращении к ОРЗР. Эти более детальные интерпретации результатов оставим заинтересованному читателю.

Пример 5. Этот пример описывает фрагмент типичного взаимодействия специалиста-эколога и ОРЗР. Здесь иллюстрируется возможность использования ОРЗР при обработке комбинации экологических и климатических данных. Эти данные связаны с оз. Онайда, самым большим озером в шт. Нью-Йорк (в среднем 33,6 км в длину и 8,8 км в ширину). Рассматриваются следующие десять переменных:

- v_1 — полное содержание биомассы зоопланктона (г/л);
- v_2 — полное содержание биомассы фитопланктона (г/л);
- v_3 — хлорофилл (г/л);
- v_4 — нитраты (г/л);
- v_5 — растворенные реактивы кремния (г/л);
- v_6 — растворенные реактивы фосфора (г/л);
- v_7 — температура воды (°C);
- v_8 — солнечная радиация (ленгли/день) (ленгли — единица солнечной радиации);
- v_9 — осадки, водный эквивалент (дюйм/день);
- v_{10} — ветер, средняя скорость (миль/час).

При обращении к ОРЗР у эколога есть матрица данных 10×193 , содержащая состояния этих переменных, полученные в течение 193 дней наблюдения с 12 апреля 1977 г. по 21 октября 1977 г. .

Поскольку переменные были измерены с высокой степенью точности, а проведено только 193 наблюдения, то для получения из имеющихся данных разумных результатов представление переменных должно быть сильно огрублено. Исходя из разных соображений, эколог принимает решение использовать критерий равной частоты (разбиение на блоки, состоящие из равных групп). Он также принимает решение сократить множество состояний всех переменных до трех состояний, кроме переменной v_9 , множество состояний которой нужно сократить до двух состояний. Основываясь на этих решениях, ОРЗР определяет разрешающие формы, показанные в табл. 6, и использует их для преобразования исходных данных к новому виду. Для экономии места этот новый вид данных (матрица целых чисел 10×193), являющийся основой дальнейшей обработки, здесь не приводится.

Таблица 6.

Разрешающие формы из примера 5 (оз. Онаяда)

Переменные	Идентификаторы состояний		
	0	1	2
v_1 {зоопланктон}	[1.5—147.7]	[147.7—215.2]	[215.2—338.9]
v_2 {фитопланктон}	[202.3—2170.4]	[2170.4—5122.6]	
v_3 {хлорофилл}	[1.3—8.3]	[8.3—12.7]	[5122.6—14963.2]
v_4 {азот}	[0.0—54.5]	[54.5—253.8]	[12.7—27.5]
v_5 {кремний}	[25.0—337.7]	[337.7—605.6]	[253.8—543.8]
v_6 {фосфор}	[1.4—2.1]	[2.1—4.4]	[605.6—1354.9]
v_7 {температура}	[2.2—15.2]	[15.2—20.2]	[4.4—24.0]
v_8 {солнечная радиация}	[0.0—221.2]	[221.2—442.3]	[20.2—23.4]
v_9 {осадки}	[0.0]	[0.0—1.75]	[442.3—663.5]
v_{10} {ветер}	[3.7—7.6]	[7.6—10.2]	[10.2—18.6]

Ясно, что даже после сильного огрубления форм представления число наблюдений слишком мало (в 204 раза меньше) по сравнению с числом всех состояний, определенных для переменных. Поэтому эколог принимает решение использовать исключительно возможностный подход, который существенно меньше зависит от объема данных, и исследовать некоторые наиболее значимые подмножества переменных.

Во-первых, определены реконструктивные свойства системы, содержащей только переменные v_1, \dots, v_6 . Допустимые реконструктивные гипотезы на первом — шестом уровнях уточнения перечислены в табл. 7; их расстояния на более высоких уровнях уточнения слишком велики в соответствии с определенным экологом критерием.

Таблица 7.

Подходящие реконструктивные гипотезы, основанные на переменных v_1, \dots, v_6 (пример 5)

l	Структура	D_l
1	12345/12356	0.0021
2	12345/1356	0.0049
3	1345/1356/1235	0.0098
4	1356/1235/345	0.0242
5	1356/123/345	0.0386
6	136/123/345/356	0.0544

Блок-схема максимально уточненной допустимой гипотезы, которая в дальнейшем называется гипотеза SF, показана на рис. 11.

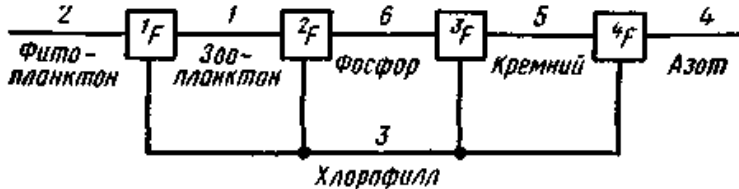


Рис. 11. Схема основной реконструктивной гипотезы, основанной на переменных v_1, \dots, v_6 (и маске без памяти (пример 5)

Некоторые разумные результаты можно получить из множества решений табл. 7. Один из них — значимость переменной v_3 , которая сильно взаимосвязана со всеми остальными переменными. Гипотеза SF (рис. 7) может также использоваться как руководство при дальнейших, более детальных исследованиях, выборе соответствующих подмножеств переменных. Поскольку в данном исследовании наибольший интерес представляет переменная 1 (зоопланктон), то эколог принимает решение в дальнейших исследованиях исключить из рассмотрения переменные v_4 и v_5 , которые в гипотезе SF напрямую не связаны с переменной v_1 . Кроме того, он исключает переменную v_2 , основываясь на том, что она хорошо представляется переменной v_3 (хлорофилл); это обусловлено сильной взаимосвязью этих двух

переменных, а также их экологической значимостью. В результате остаются переменные v_1, v_2, v_3 .

Для более тщательного изучения переменных v_1, v_3, v_6 эколог требует определить все допустимые маски с тремя порождающими переменными, определенные среди наибольших допустимых масок при $\Delta M=6$. Это требование приводит к двум допустимым маскам M_1 и M_2 , показанным на рис. 12.

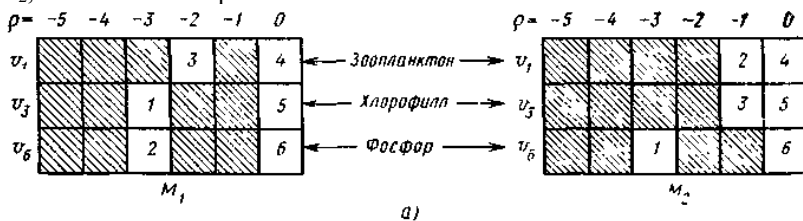


Рис. 12. Допустимые маски из примера 5

Результаты применения анализа реконструируемости к системам с поведением, полученным для этих масок из имеющихся данных, приведены в табл. 8 — это допустимые гипотезы реконструкции.

Таблица 8.

Подходящие реконструктивные гипотезы, основанные на масках M_2 и M_1 , (пример 5, см. рис. 12)

Маска M_1			Маска M_2		
i	Структура	D_i	i	Структура	D_i
1	13456/23456	0 0006	1	12346/12356	0.0003
2	1356/23456	0 0019	2	1246/1356/2346/2356	0.0010
3	1356/2456/3456	0 0032	3	1356/2346/2356	0.0017
4	156/2456/3456	0 0094	4	1356/234/2356	0.0033
5	156/2456/346	0 0137	5	1356/2356/34	0.0046
6	156, 2456/34	0 0159	6	1356/256/34	0.0087
7	156/245/34/256	0 0232	7	1356, 25/34	0.0148
8	15/245/34/256	0.0339	8	156/25/34/356	0.0231
9	15/245/34/26	0.0401	9	16/25/34/356	0.0341
10	15/24/34/26/25	0.0549	10	16/25/34/36/56	0.0542

В эту таблицу не включены уровни уточнения выше десятого, поскольку они не приемлемы по критерию эколога. Видно, что в этих двух масках идентификаторы v_1, \dots, v_6 выборочных переменных имеют разный смысл.

Таблица 8 является богатым источником для всевозможных выводов, включая и выводы, связанные с направлениями переменных, но, поскольку они могут содержать подходы, отличные от системных, здесь они будут опущены. Тем не менее опишем одно дополнительное взаимодействие эколога с ОРЗР. Эколог решает дополнить три экологические переменные v_1 (зоопланктон), v_3 (хлорофилл), v_6 (фосфор) четырьмя климатическими переменными v_7 (температура воды), v_8 (солнечная радиация), v_9 (осадки), v_{10} (ветер) и осуществить реконструктивный анализ для системы с поведением, основанной на этих семи переменных и маске без памяти. Схема максимально уточненной реконструктивной гипотезы показана на рис. 13.

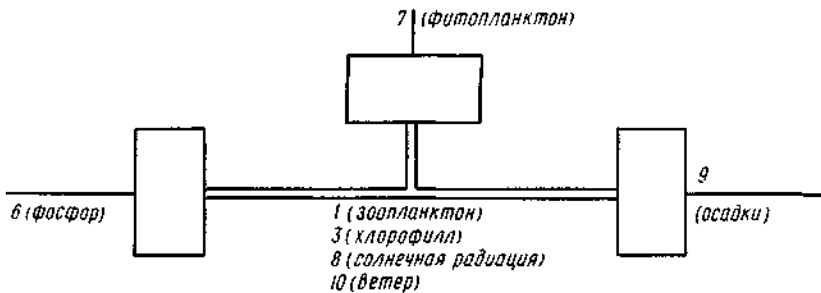


Рис. 13. Наиболее уточненная допустимая реконструктивная гипотеза для переменных $v_1, v_3, v_6 \dots v_{10}$ и маски без памяти — из примера 5

Среди возможных результатов практический интерес для эколога представляет то, что переменная v_{10} (ветер) имеет такое же значение, как и переменная v_8 (солнечная активность). Это, по-видимому, является следствием того, что оз. Онайда чрезвычайно мелкое.

Теперь эколог может использовать ОРЗР для дальнейшего изучения центральных переменных 1, 3, 8, 10 в последней удачной гипотезе (рис. 13), но предыдущее описание представляется вполне достаточным, чтобы проиллюстрировать роль ОРЗР в новом и творческом процессе научного исследования.

Пример 6. В этом примере показано, как одна из имеющихся реализаций ОРЗР использовалась при изучении хирургии на открытом сердце. Для исходной системы важны следующие шесть физиологических параметров, которые в течение операции регистрировались у пациента с периодом в 30 с (т. е. в моменты времени 0 с, 30 с, 60 с, 90 с ...):

v_1 — систолическое кровяное давление (**SBP**);

v_2 — среднее кровяное давление (**MBP**);

v_3 — центральное венозное давление (**CBP**);

v_4 — пропускная способность сердца (**СО**);

v_5 — частота пульса (**НР**);

v_6 — остаточное артериальное давление (**ЛАР**).

Для каждой переменной определено пять состояний, помеченных идентификаторами 1, 2, 3, 4, 5. По принятой шкале состояние 3 соответствующей характеристики означает с медицинской точки зрения норму. Состояния 1 и 5 соответствуют критическим состояниям, требующим незамедлительных действий, приводящих к желательным изменениям, поскольку в противном случае пациент может умереть. Состояния 2 и 4 нежелательны (опасны), но не критичны. Цель настоящего исследования состоит в определении реконструктивных свойств системы, знание которых может помочь анестезиологу в ходе операции при неблагоприятных ситуациях.

В табл. 9 приведена вероятностная функция поведения, связанная с этим примером исследования и основанная на маске, показанной на рис. 14,а.

Таблица 9.

Функция поведения из примера 6

	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	$f(c)$		s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	$f(c)$
$c=3$	1	3	3	4	5		0.005		3	3	3	3	3	5	0.005
	3	2	3	1	3	3	0.025		3	3	3	3	4	3	0.025
	3	2	3	3	3	3	0.171		3	3	3	3	4	4	0.005
	3	2	3	3	3	4	0.005		3	3	3	3	4	5	0.010
	3	2	3	3	3	5	0.005		3	3	3	3	5	5	0.025
	3	2	3	3	4	3	0.005		3	3	3	4	3	3	0.035
	3	2	3	3	4	4	0.005		4	2	3	3	3	3	0.025
	3	2	3	3	4	5	0.005		4	3	3	3	3	3	0.101
	3	2	3	3	5	5	0.030		4	3	3	3	3	4	0.005
	3	2	3	4	3	3	0.010		4	3	3	3	3	5	0.005
	3	2	5	3	4	5	0.005		4	3	3	3	4	4	0.010
	3	3	3	1	3	3	0.005		4	3	3	3	4	5	0.010
	3	3	3	3	3	3	0.442		4	3	3	3	5	5	0.005
	3	3	3	3	3	4	0.015								

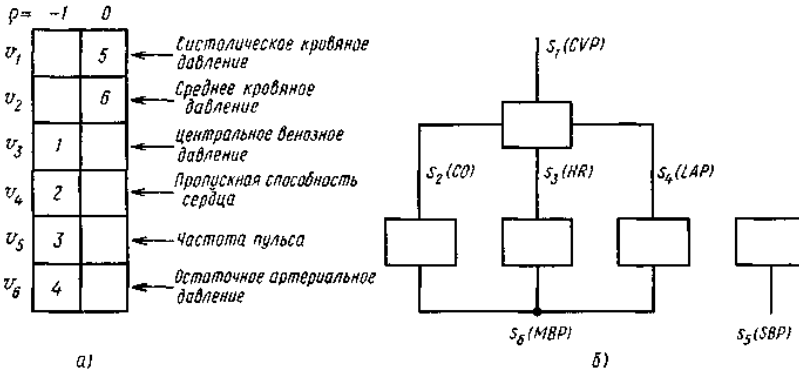


Рис. 14. Наиболее уточненные допустимые \mathcal{F} -структуры из примера 6 (операции на открытом сердце)

Она описывает среднего пациента — мужчину возраста около 45 лет — и получена в результате обработки данных, собранных в ходе 100 успешных операций. Видно, что для этой категории пациентов: 1) полностью нормальное состояние, в котором все переменные находятся в состоянии 3, далеко от наиболее вероятного состояния; 2) часть переменных никогда не находится в определенных нежелательных состояниях (например, состояниях 1, 2 и 5 для переменной v_1). Возможно, что для различных категорий пациентов (женщины, различный возраст и т. д.) могут быть получены разные функции поведения. Маска, для которой определена функция поведения, выделена ОРЗР как наилучшая в следующем смысле: это единственная маска при $\Delta M=2$ с шестью выборочными переменными, которая приводит к наименее нечеткой ST-системе. Представляющая для анестезиолога максимальный интерес ST-функция была также определена ОРЗР, но здесь в силу большого размера ее матрица 27×27 или список из 729 записей) не приводится.

Для обработки данных существует много других способов использования ОРЗР. В качестве иллюстрации применим определенный вариант анализа реконструируемости функции поведения из табл.9. Такой подход характеризуется следующими требованиями: сначала анализируются C-структуры, а затем анализируются G-структуры в классах r -эквивалентности максимально уточненных допустимых C-структур; максимально допустимый рост расстояния между уровнями уточнения C-структур составляет 0.016;

G-структуры в рассматриваемых классах r -эквивалентности допустимы только тогда, когда их расстояние совпадает с расстоянием соответствующей C-структуры;

используется расстояние Хемминга; для итерационной процедуры объединения $\Delta=0.0001$.

В соответствии с этими требованиями в табл. 10 а перечислены допустимые C-структуры на отдельных уровнях уточнения. Единственно допустимой является структура 1234/26/36/46/5; ее лучший предшественник приведен в табл. 10 б, а схема показана на рис. 14, б.

Таблица 10.

Подходящие реконструктивные гипотезы для функции поведения, приведенной в табл. 9 (пример 6 — операции на открытом сердце)

а) C-структуры			б) G-структуры		
l	Структура	D_l	l	Структура	D_l
1	12346/12456	0.0	1	1234/236/246/346/5	0.0127
	12345/12346	0.0	2	1234/236/346/5	0.0127
2	12346/1245	0.0	3	1234/346/26/5	0.0127
3	12346/145	0.005	4	1234/26/36/46/5	0.0127
4	12346/15	0.0089			
5	12346/5	0.0099			
6	1234/2346/5	0.0127			

Эта структура может значительно помочь анестезиологу. Например, она показывает, что систолическое кровяное давление слабо зависит от других переменных, в особенности от частоты пульса и среднего кровяного давления (см. табл. 10 а при $l=1, 2$), и что одновременно не надо рассматривать более четырех (из шести) переменных. Хотя из данной структурированной системы можно получить и другие результаты, их дальнейшую интерпретацию лучше предоставить соответствующим медицинским экспертам.

Пример.7. Этот пример иллюстрирует применение ОРЗР в археологии. Здесь описывается малая часть большого исследования, выполненного в период 1978—1980 гг.. Объектом изучения являлся Браун-Нолл, доисторическое поселение в центральной части шт. Нью-Йорк. Поселение находилось на вершине каменистого холма в долине слияния рек Саскуэханна и Шеневас-Крик.

Из предыдущих археологических работ было известно, что на Браун-Нолл есть участки, где сохранились следы различных видов деятельности доисторических охотников — каменные инструменты, костяные и деревянные изделия, орехи, остатки очагов и жилищ и т. п.,

относящиеся приблизительно к периоду от 3000 до 500 года до н. э. Обычные методы археологических раскопок в этом случае были неприменимы, поскольку требовалась вертикальная стратиграфия почвы, необходимая для разделения разных по времени поселений. Кроме того, местность частично была деформирована недавними пахотными работами.

При проведении археологических работ использовалось два вида раскопок: 1) 1068 пробных расположенных в 5 м друг от друга шурфов (максимально допустимая в этом месте глубина и диаметр археологических раскопок составляет 30 см); 2) 291 более крупный раскоп (1×1 м). Пробные шурфы делались для определения мест концентрации археологических находок, и в дальнейшем такие шурфы раскапывались в квадраты. Множество положений отдельных раскопов (пробных шурфов или квадратов) представляет в этом примере параметрическое множество. Хотя правильное расположение в пространстве пробных шурфов можно использовать для изучения пространственного отношения с помощью набора масок, в этом примере ограничимся масками без памяти. Находки в каждом раскопе описывались с помощью четырех переменных: нарушенные слои, блоки, обломки, целые слои. Для каждой переменной было выделено от двух до пяти состояний. Они были определены ОРЗР исходя из условия равных частот. В табл. 11 приведены примеры двух множеств полученных разрешающих форм.

Таблица 11.

Примеры двух множеств разрешающих форм для функции поведения, приведенной в табл. 9

Переменные	Идентификаторы состояний				
	0	1	2	3	
Множество I					
v_1 (нарушенные слои)	0	1,2	≥ 3	—	
v_2 (блоки)	0	1,2	≥ 3	—	
v_3 (обломки)	0	1,2	≥ 3	—	
v_4 (слои)	0—2	3—8	9—14	≥ 15	
Множество II					
Переменные	0	1	2	3	4
v_1 (нарушенные слои)	0	≥ 1	—	—	—
v_2 (блоки)	0,1	≥ 2	—	—	—
v_3 (обломки)	0	≥ 1	—	—	—
v_4 (слои)	0	1	2	3,4	≥ 5

В ходе исследования были определены некоторые другие множества разрешающих форм, основанные на условиях равных частот, и для

каждой соответствующей системы с поведением без памяти был выполнен анализ реконструируемости. Было показано также, что такие изменения в разрешающих формах рассматриваемых переменных слабо влияют на множество решений. Это означает, что допустимые гипотезы реконструкции хорошо параметризованы. В этом примере из определенных в табл. 11 разрешающих форм рассматривается только множество II. Использовались три соответствующих множества данных, основанных на нераспаханных пробных шурфах; распаханых пробных шурфах; всех пробных шурфах. В табл. 12 приведены вероятностные функции поведения, полученные из этих трех множеств данных и обозначенные соответственно f_1, f_2 и f_3 .

Таблица 12.

Вероятностные функции поведения из примера 7 (археологические раскопки)

	v_1	v_2	v_3	v_4	$f_1(c)$	$f_2(c)$	$f_3(c)$	v_1	v_2	v_3	v_4	$f_1(c)$	$f_2(c)$	$f_3(c)$
c=0	0	0	0	0	0.628	0.211	0.437	1	0	0	0	0.002	0.023	0.011
	0	0	0	1	0.103	0.137	0.119	1	0	0	1	0.007	0.012	0.009
	0	0	0	2	0.050	0.114	0.081	1	0	0	2	0.004	0.008	0.006
	0	0	0	3	0.042	0.123	0.079	1	0	0	3	0.005	0.025	0.014
	0	0	0	4	0.056	0.142	0.095	1	0	0	4	0.016	0.027	0.020
	0	0	1	0	0.012	0.016	0.014	1	0	1	0	0.002	0.002	0.002
	0	0	1	1	0	0.014	0.007	1	0	1	1	0.004	0.002	0.003
	0	0	1	2	0.004	0.010	0.007	1	0	1	2	0.002	0	0.001
	0	0	1	3	0.002	0.012	0.007	1	0	1	3	0	0.008	0.004
	0	0	1	4	0.010	0.027	0.018	1	0	1	4	0.009	0	0.005
	0	1	0	0	0.004	0.012	0.008	1	1	0	0	0	0	0
	0	1	0	1	0.005	0.006	0.006	1	1	0	1	0.002	0	0.001
	0	1	0	2	0.002	0.010	0.006	1	1	0	2	0	0.002	0.001
	0	1	0	3	0.004	0.014	0.009	1	1	0	3	0	0	0
	0	1	0	4	0.016	0.020	0.018	1	1	0	4	0.007	0.002	0.005
	0	1	1	0	0.002	0.004	0.003	1	1	1	0	0	0	0
	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	0	1	1	2	0	0.004	0.002	1	1	1	2	0	0	0
	0	1	1	3	0	0	0	1	1	1	3	0	0	0
	0	1	1	4	0.004	0.008	0.006	1	1	1	4	0.002	0.002	0.002

Допустимые множества гипотез реконструкции (основанные исключительно на C-структурах) приведены на каждой из них в табл. 13, соответствующие зависимости D_l от l показаны на рис. 15.

Таблица 13.

Подходящие множества реконструктивных гипотез из примера 7

Номер	Структура	Вероятность	Номер	Структура	Вероятность
а) Нераспаханные пробные шурфы (f_1)			4	14, 24/3	0.0075 а), в)
1	134, 234	0.0006 б), в)	5	24/1/3	0.0095 а)
2	134/24	0.0016 Нет	6	1/2/3/4	0.0120 а), в)
3	14/24/34	0.0059 в)	в) Все пробные шурфы (f_3)		
4	14/24/3	0.0126 б), в)	1	134/234	0.0007 а), б)
5	24/1/3	0.0286 б)	2	14, 234	0.0019 Нет
6	1/2, 3/4	0.0400 б), в)	3	14, 24/34	0.0036 а)
б) Распаханные пробные шурфы (f_2)			4	14/24/3	0.0077 а), б)
1	134/234	0.0023 а), в)	5	14, 2/3	0.0140 Нет
2	13, 234	0.0039 Нет	6	1/2/3, 4	0.0208 а), б)
3	1/234	0.0058 Нет			



Рис. 15. Результаты реконструктивного анализа из примера 7 (археологические раскопки)

Пример 8. В этом примере выделены следующие пять переменных, каждая из которых может принимать четыре состояния (0 — низкое, 1 — среднее, 2 — высокое, 3 — очень высокое):

- v_1 — энергетический уровень;
- v_2 — количество потребляемых жиров;
- v_3 — количество потребляемых углеводов;
- v_4 — число упражнений;
- v_5 — продолжительность сна (в предыдущую ночь).

Каждое утро фиксировались состояния переменных v_1, \dots, v_4 в предыдущий день и состояние переменной v_5 на текущий день.

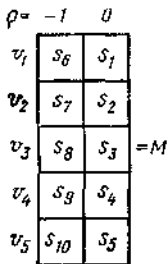
Следующая выборка данных была получена в течение начального периода (50 дней):

$v_{1,t} = 21101101022112221021022121021212212133321012222102$
 $v_{2,t} = 221031101210223211021112112110212122221311011121212$
 $v_{3,t} = 211113122112311101333112232221132201232323121331$
 $v_{4,t} = 301001020230020100210220100002013001202030011101200$
 $v_{5,t} = 012112221331322002212233313132130100321001121120011$

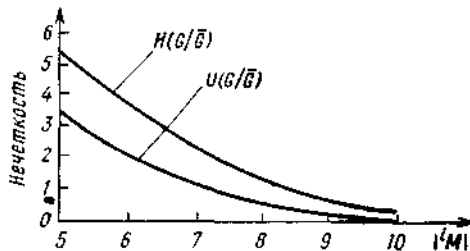
Из анализа данных с целью выделения допустимых систем с поведением при $\Delta M = 2$ и обычном требовании (нечеткость, сложность) следует, что допустимые маски для вероятностного и возможностного подходов полностью совпадают. Они показаны на рис. 16,а, где выборочные переменные имеют тот же смысл, что и на рис. 16,б.

l	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	$ M $	$U(G/\bar{G})$	$H(G/\bar{G})$
1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	10	0.119	0.307
2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	9	0.218	0.531
3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	8	0.453	1.037
4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	7	1.128	2.234
5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	6	1.868	3.685
6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	5	3.143	5.168

а)



б)



в)

Рис. 16. Допустимые маски при наибольшей допустимой маске M из примера 8 (самонаблюдение)

На рис 16,в изображены зависимости порождающих нечеткостей от размеров масок.

Теперь можно осуществить анализ реконструируемости для систем с поведением, основанных на некоторых из этих допустимых масок. В качестве иллюстрации опишем здесь случай возможностного подхода для маски с шестью выборочными переменными (рис. 17,а) (для вероятностного анализа число наблюдений недостаточно) и С-структур.

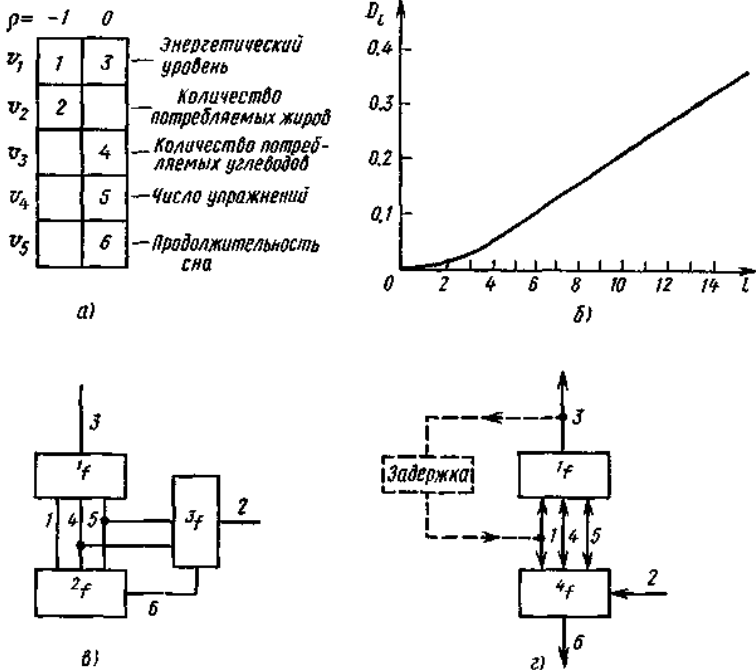


Рис. 17. Реконструктивный анализ из примера 8

Зависимость D_l от l для этой маски показана на рис. 17,б. Видно, что уровни уточнения естественным образом кластеризуются на $l = 1, 2, 3$. Для первых трех уровней допустимые гипотезы реконструкции единственны:

- 13456/23456 ($l=1$);
- 1345/2345/1456/2456 ($l=2$);
- 1345/1456/2456 ($l=3$)

Каждая из этих гипотез четко отличается (по информационному расстоянию) от конкурирующих гипотез на этом же уровне уточнения. В противоположность этому на каждом уровне при $l \geq 4$ возникают

большие кластеры допустимых гипотез реконструкции. Следовательно, гипотеза 1345/1456/2456 представляется наиболее информативной. На рис. 17,*а* показана ее схема.

Для того чтобы показать влияние переменных v_1, v_2, v_4, v_5 на переменные v_3 и v_6 , представляющие в исследуемой системе наибольший интерес, необходимо ввести соответствующие направления для переменных. Переменная v_6 определяется либо функцией 2f , либо функцией 3f (но не одновременно). Возникающая дилемма может быть решена следующим образом: определив неопределенности в обоих случаях, надо выбрать вариант с меньшей нечеткостью. Тогда одна из двух функций (2f или 3f) не используется, и соответствующую подсистему можно исключить из рассмотрения. Другая возможность решения дилеммы, связанная с управлением переменной v_6 , заключается в объединении подсистем 1456 и 2456 в одну большую подсистему, как показано на рис. 17,*з*.

Определенная выше исходная система (или ее модификации) может также рассматриваться как метасистема. В этом случае данные необходимо разбить на отдельные фрагменты, характеризующиеся определенными особенностями, такими, как специальная диета, чрезмерные нагрузки (до и во время соревнований) и др. Каждое характерное подмножество данных должно анализироваться независимо от других подмножеств и результирующие системы с поведением или структурированные системы должны быть затем объединены в одну метасистему с помощью соответствующей процедуры замены.

Пример 9. Рассмотрим показанный на рис 18,*а* простой переключающий контур, состоящий из двух элементов, представляющих логические функции И и ИЛИ.

При всех состояниях входных переменных v_1, v_2, v_3, v_4 выходные переменные v_5 и v_6 находятся в показанных на рис. 18,*б* состояниях. Очевидно, что из-за отмеченных на рисунке состояний *a* и *b* система не детерминирована; у нее есть память. Когда $v_1=v_2=1$, а $v_3=v_4=0$, то действительное состояние выходных переменных v_5 и v_6 содержит информацию о последнем изменении входных переменных. Например, если последнее изменение связано только с переменными v_1 и v_2 , то $v_5=v_6=0$; если оно связано только с переменными v_3 и v_4 , то $v_5=v_6=1$.

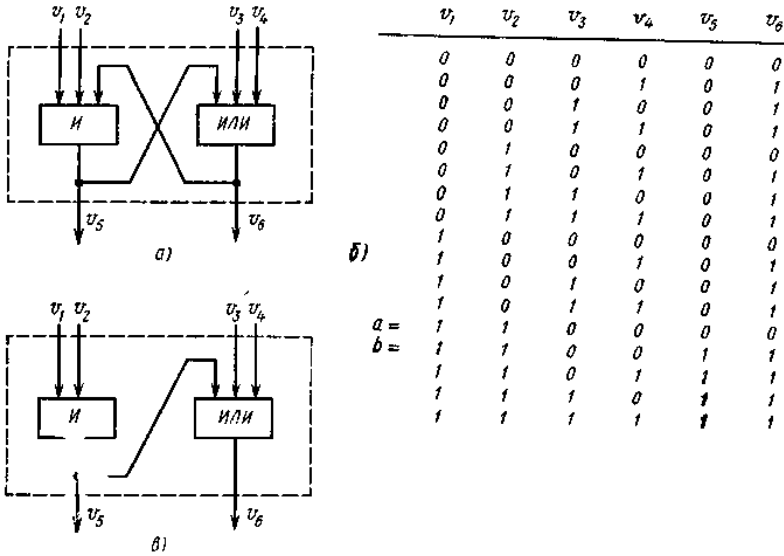


Рис. 18 Определение дефекта соединения (пример 9)

Предположим теперь, что в силу некоторого дефекта в связях системы состояние a никогда не реализуется, а все остальное не изменилось. Предположим, что у нас для определения дефекта нет прямого доступа к системе. Тогда единственный непрямой способ определения дефекта заключается в анализе реконструктивных свойств новой системы с поведением (системы без состояния a), находящейся в соседстве со структурой, представляющей корректную систему, показанную на рис. 18,а. Рассматривая все перечисленные на рис. 18,б состояния, кроме состояния a , как допустимые, а остальные состояния как недопустимые, в результате возможностного анализа S -уточнений корректной структуры 1256/3456 получаем две структуры с нулевым расстоянием: 125/3456/156 и 125/3456/256. Из дальнейшего уточнения каждой из них следует, что только структура 125/3456 имеет нулевое состояние. Производя следующее уточнение, получаем, что ее остальные прямые уточнения имеют ненулевое состояние. Таким образом, структура 125/3456 представляет новую систему; ее схема показана на рис. 18,в. Теперь дефект становится очевидным: нарушена связь между переменной v_6 и элементом И.

В этом примере, поскольку мы предполагали изменения в связях, но не разрушение переменных, применение RC -процедуры было достаточно. Пользователь может также использовать ОРЗР в интерактивном

режиме и запросить только те структуры, которые соответствуют дефектам связей, например 1256/346, 125/3456, 256/3456, 156/3456 и т. д.

Отметим, что в этом примере не рассматривается, каким именно способом осуществлена физическая реализация системы. Каждая конкретная реализация может иметь какие-либо дополнительные особенности, которые необходимо учитывать. Тем не менее всегда при решении задач этого типа пользователь может обращаться за помощью к ОРЗР.

Пример 10. Рассмотрим монитор как один из подходов к оценке производительности вычислительных систем. Ниже на конкретном примере показано применение ОРЗР в этой предметной области.

Было отмечено, что в течение временных интервалов порядка 20 мин эффективность работы центрального процессора вычислительной системы снижается со 100 до 80% и ниже. Чтобы избавиться от этого необычного явления, был проведен мониторинг девяти тщательно отобранных переменных, характеризующих вычислительную систему.

Наблюдение осуществлялось, когда снизилась эффективность работы центрального процессора. Длительность наблюдения составляла 49 мин с уровнем разрешения 30 с. Это значит, что имелось 98 наблюдений. В каждом из наблюдений в течение соответствующего интервала в 30 с регистрировалась эффективность работы (в процентах) каждого рассматриваемого элемента. Затем с помощью ОРЗР эти данные были преобразованы к булевому виду. Было потребовано, чтобы состояния этих новых переменных определялись между «высокой» и «низкой» эффективностями соответствующих элементов, исходя из их средних значений, определенных по исходным данным. Все булевы переменные были одинаково определены следующим образом:

$$v_i = \begin{cases} 0, & \text{если эффективность меньше среднего значения,} \\ 1 & \text{во всех остальных случаях.} \end{cases}$$

Следующий список определяет взаимосвязь между переменными и элементами компьютера, а также содержит среднее значение каждой переменной:

v_1 — центральный процессор ($a_1 = 30\%$);

v_2 — супервизор ($a_2 = 43\%$);

v_3 — решение задачи ($a_3 = 45\%$);

v_4 — канал 1 ($a_4 = 10\%$);

v_5 — канал 3 ($a_5 = 10\%$);

v_6 — канал 5 ($a_6 = 10\%$);

v_7 — устройство 160, связанное с центральным процессором

каналом 1 ($a_7=3\%$);

v_8 — устройство 162, связанное с центральным процессором каналом 1 ($a_8=56\%$);

v_9 — устройство 163, связанное с центральным процессором каналом 1 ($a_9=44\%$).

В этом примере первый раз ОРЗР использовался при определении значений a_i по исходным данным, затем при приведении исходных данных к булевому виду. Матрица данных здесь не приводится, поскольку очень велика (9×98).

Затем с использованием ОРЗР данные были преобразованы к маске без памяти и была определена вероятностная функция поведения. После этого для S -структур, не требующих итерационной процедуры объединения, были рассмотрены свойства реконструкции этой функции. Расстояние Хемминга задавалось пользователем. В табл. 14 перечислены все допустимые при данных требованиях гипотезы реконструкции, на рис. 19 показана зависимость расстояния от уровня уточнения.

Таблица 14.

Подходящие реконструктивные гипотезы из примера 10 (оценка производительности компьютера)

i	Структура	$\delta_{1,i}$	i	Структура	$\delta_{1,i}$
1	12345678/12346789	0.0000	16	235678/1257/47/19	0.12215
	12345678/12456789	0.0000	17	23578/25678/1257/47/19	0.1469
	12345678/13456789	0.0000	18	23578/2567/1257/47/19	0.1594
	12456789/23456789	0.0000	19	23578/267/1257/47/19	0.16855
2	12345678/1246789	0.0000	20	23578/26/1257/47/19	0.17775
	12345678/1346789	0.0000	21	23578/26/1257/4/19	0.1923
	2345678/12456789	0.0000	22	23578/26/127/4/19	0.20675
	12345678/1456789	0.0000	23	2357/3578/26/127/4/19	0.21265
3	12345678/146789	0.0000	24	2357/578/26/127/4/19	0.24105
4	12345678/14789	0.00825	25	235/578/26/127/4/19	0.2707
5	12345678/1789	0.01515	26	235/578/6/127/4/19	0.2883
6	1235678/1245678/1789	0.02025	27	235/57/78/6/127/4/19	0.31105
7	235678/1245678/1789	0.02026	28	235/78/6/127/4/19	0.34045
8	235678/1245678/179	0.02715	29	23/35/78/6/127/4/19	0.34355
9	235678/1245678/19	0.0391	30	23/35/78/6/127/4/9	0.3507
10	234678/125678/245678/19	0.0501	31	23/35/78/6/17/27/4/9	0.36715
11	235678/12567/245678/19	0.0551	32	23/57/78/6/17/27/4/9	0.3723
12	235678/12567/24578/19	0.06655	33	3/4/5/6/78/17/27/9	0.39955
13	235678/1257/24578/19	0.08285	34	3/4/5/6/8/9/17/27	0.41165
14	235678/1257/2478/19	0.09945	35	2/3/4/5/6/8/9/17	0.4209
15	235678/1257/478/19	0.1113	36	1/2/3/4/5/6/7/8/9	0.66085

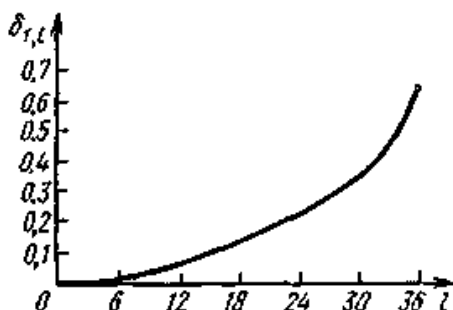


Рис. 19. Зависимость расстояния от уровня уточнения в примере 10 (оценка производительности компьютера)

Проследивая приведенную в таблице последовательность уточнений, можно выделить наиболее важные проекции всех функций поведения, их степень и положение в решетке уточнений. Цель состоит в обработке этой информации для выработки стратегий повышения эффективности работы вычислительной системы.

Пример 11. Для получения количественной оценки атаки в бейсболе было предложено множество функций, основанных на переменных, характеризующих атакующие действия отдельных игроков. В статье «Оценка моделей атаки в высшей лиге бейсбола» предложено десять таких функций оценки атаки. В этой статье приведены данные, содержащие 5 из этих оценок для 33 лучших игроков Национальной и Американской лиги; эти оценки называются ВА (средний уровень), SP (сила удара в процентах), ОА (число атак), ОРА (число результативных атак), ЕРРА (число результативных перебежек).

Один из возможных способов количественного описания этих оценок и их относительной значимости состоит в осуществлении анализа реконструируемости данных. Система данных содержит пять переменных (пять оценок), один параметр (группа из 33 бейсболистов) и матрицы данных 5×33 , которая здесь не приводится.

Перед выполнением реконструктивного анализа пользователь принял решение укрупнить разрешающие формы переменных, понизив число состояний каждой переменной до трех. В табл. 15,а приведены соответствующие результаты.

Результаты разрешающих форм

а) Разрешающие формы

Средний уровень (ВА):

0—[0, 0.277]; 1—(0.277, 0.307); 2—[0.307, 0.8]

Сила удара в процентах (SP):

0—[0, 0.443]; 1—[0.443, 0.461]; 2[—0.461, 0.8]

Среднее число атак (ОА):

0—[0, 0.515]; 1—[0.515; 0.533]; 2—[0.533, 0.8]

Среднее число результативных атак (ОРА):

0—[0, 0.472]; 1—[0.472, 0.491]; 2—[0.491, 0.8]

Число результативных перебежек (ЕРРА):

0—[0, 0.147]; 1—[0.147, 0.16]; 2—[0.16, 0.8]

б) Подходящие реконструктивные гипотезы

	Структура	Расстояние
1	1234/1345	0.0069
2	1234/145	0.0221
3	1234/45	0.0357
4	123/234/45	0.0580
5	124/34/45	0.0771
6	14/24/34/45	0.1030
7	1/24/34/45	0.1778
8	1/2/34/45	0.2777
9	1/2/3/45	0.3975
10	1/2/3/4/5	0.5309

Затем были отобраны данные и определена возможностная функция поведения. В результате в множестве \mathcal{S}_3 были определены допустимые гипотезы реконструкции; они перечислены в табл. 15,б. Переменные обозначены цифрами: 1 — ВА; 2— SP; 3—ОА; 4 —ОРА; 5 — ЕРРА. На рис. 20 показано увеличение расстояния (потеря информации) по мере уточнения.

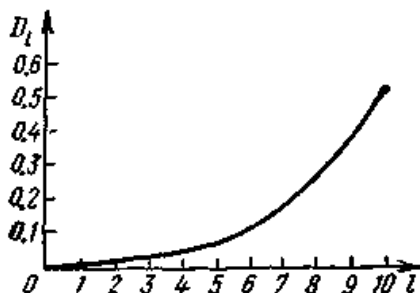


Рис. 20. Зависимость расстояния от уровня уточнения в примере 11 (бейсбол)

Видно, что скорость изменения очень мала при $l \leq 6$ и резко возрастает при $l \geq 6$. Следовательно, наиболее информативная гипотеза реконструкции находится на шестом уровне: 14/24/34/45. Это, с очевидностью, означает, что переменная v_4 представляет наиболее важную оценку, поскольку любая другая оценка может быть получена непосредственно из нее.

3.8. Развитие ОРЗР

Создается впечатление, что по мере того, как расширяются наши возможности в решении задач, круг задач расширяется с той же скоростью. В результате за горизонтом всегда оказываются новые категории задач, требующие еще больших усилий.

Дейвид Химмельблау

В соответствии с принятой терминологией ОРЗР — экспертная система. Блестящую характеристику экспертным системам дали Брайан Гейне и Милдред Шоу.

«Экспертные системы на больших компьютерах позволяют неопытному пользователю использовать в качестве руководства записанное ранее «знание» эксперта или «коллективное знание» многих экспертов. Используя экспертные системы, Вы обсуждаете с «коллегой» проблемы медицинской диагностики или поиска нефти, или сложные процессы математического открытия. Вы дискутируете с ними, спрашиваете их мнение и в результате сотрудничества с теми, кто, может быть, давно умер, приходите к решению.

Вычислительная техника затрагивает самую суть нашего существования, поскольку **общение — это сердце человеческой цивилизации.** Мы представляем собой уникальный вид благодаря нашим способностям к адаптации и обучению, влияние которых чрезвычайно усиливается благодаря нашей способности **общаться**. Вполне достаточно, чтобы только один человек получил знания непосредственно из собственного опыта. Остальным можно рассказать, а среда позволяет перенести рассказанное через пространство и время. **Новая среда действительно изменяет наш мир, а компьютер обеспечивает самое необходимое для кодирования не самого разговора, а возможности разговаривать, не самой картины, а возможности ее воссоздать».**

Согласно Дж. Сова «Экспертная система—это система, основанная на знании, объединяющая достаточно знаний, чтобы достигнуть

экспертного уровня». В то время как большинство описанных в литературе экспертных систем предоставляют пользователю знания о традиционных дисциплинах (например, о конкретных областях медицины или права), роль ОРЗР заключается в том, чтобы помочь пользователю при рассмотрении задач познания. Таким образом, **ОРЗР объединяет системные знания и методологию, и, следовательно, его применение выходит за рамки традиционных дисциплин.**

По сравнению с экспертными системами другого вида, цель которых заключается в решении задач конкретной области возможности ОРЗР неограничены, так как он решает множество задач познания. **Наша точка зрения заключается в том, что симбиоз человек — компьютер представляет собой наилучшее средство для решения задач в целом и что потенциальные возможности компьютера максимальны в задачах, которые рассматриваются как познавательные. Цель ОРЗР заключается в максимальной реализации этих потенциальных возможностей.**

Одна из главных, но недостаточно четко акцентированных ранее особенностей архитектуры ОРЗР является то, что по своей природе она **развивающаяся**. Для того чтобы более тщательно пояснить этот аспект, сначала покажем, что концептуальная схема ОРЗР, так же, как и используемые знания и методологические основы, не должна развиваться в изоляции от традиционных дисциплин. В самом деле, традиционные дисциплины рассматривались как источники идей познания, из которых и должна была возникнуть архитектура ОРЗР.

Фактически все традиционные дисциплины тем или иным образом были связаны с задачами познания определенных типов и, следовательно, были разработаны методы для решения этих задач. Развитие любой из них внесло свой вклад в изучение систем и методологию их решения; результаты фактически были получены в рамках каждой из этих дисциплин.

Следует подчеркнуть, что описанная в этой работе концептуальная схема ОРЗР в значительной степени развивалась в процессе тщательного определения понятия системы и соответствующих задач познания при изучении многих отдельных дисциплин, абстрагирования их от контекста, введения соответствующих категорий и, в конце концов, объединения их в одно связанное целое. Хотя настоящая схема весьма устойчива, эти процессы продолжаются, и в будущем может возникнуть необходимость в расширениях и других эволюционных изменениях этой схемы. Аналогичные процессы происходят и в процессе эволюции базы знаний ОРЗР, методологических и метаметодологических основ.

Очевидно, что отбор системных понятий, методов и знаний из различных традиционных дисциплин — только часть всего процесса развития архитектуры ОРЗР. В действительности это только основа для настоящих исследований ОРЗР, цель которых состоит в том, чтобы, определяя и заполняя пробелы в концептуальной схеме, сделать ее по возможности полной и всесторонне совершенствовать знания и методологические основы, особенно в тех важных областях, которые пока недостаточно развиты.

Еще один дополнительный и весьма важный аспект эволюционной природы архитектуры ОРЗР заключается в необходимости того, чтобы ОРЗР был адаптируем к нуждам его пользователей. На обычном языке это означает, что предполагается хранение записей о всех взаимодействиях *пользователь — ОРЗР* и использование этой информации в дальнейших исследованиях ОРЗР. Для этой цели определенный интерес представляют записи и неудачных взаимодействий пользователя и ОРЗР, поскольку они могут обозначить недостатки интерфейса пользователь — ОРЗР, методологически недостаточно исследованные типы задач или даже необходимость расширения концептуальной схемы.

На рис. 21 показан описанный выше процесс развития архитектуры ОРЗР.

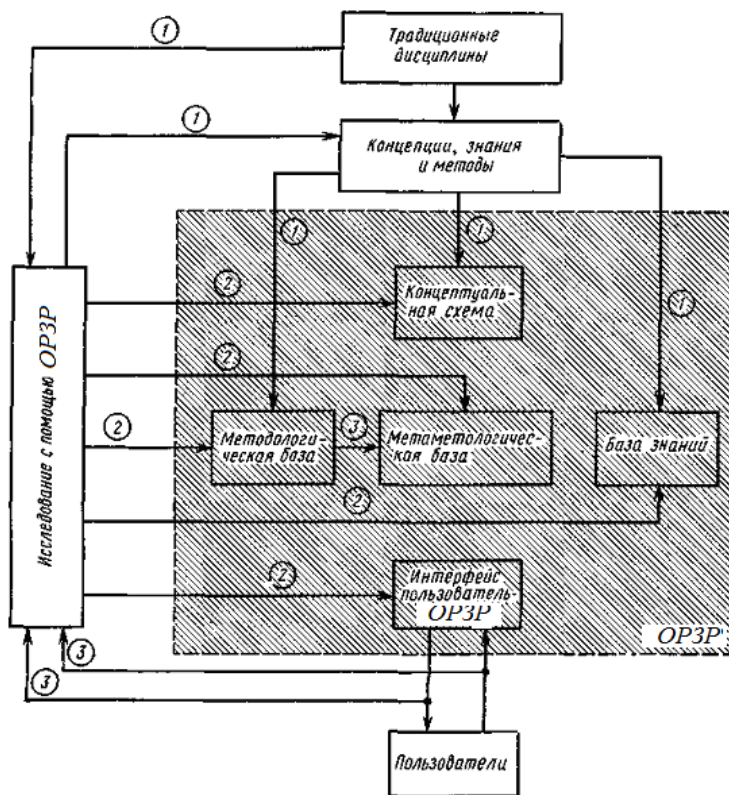


Рис. 21. Эволюция архитектуры ОРЗР

Цифры при соответствующих связях на диаграмме имеют следующий смысл:

1 — процессы выделения, абстрагирования, введения категорий и объединения соответствующих понятий, знаний и методов из традиционных дисциплин;

2 — четыре области исследования ОРЗР;

3 — использование как руководство при исследовании ОРЗР информация о взаимодействиях пользователей и ОРЗР.

Поскольку среда, в которой развивается ОРЗР (традиционные дисциплины и представляющие эти дисциплины пользователи ОРЗР), имеет определяющее значение для его развития, то представляется возможным охарактеризовать архитектуру ОРЗР как естественную.

Закончим этот раздел и эту работу цитатой:

Полезна полнота без полноты.
Желательна завершенность
без завершения.

Приложение

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОБЛЕМОЛОГИЧЕСКИХ КАТЕГОРИЙ К ОПИСАНИЮ ПРОТОКОЛОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

А. Описание протокола решения стереометрической задачи, взятого из литературы.

Формулировка задачи: «Найти объем V_A правильной четырехугольной усеченной пирамиды, если даны ее высота h , сторона a верхнего основания и сторона b нижнего основания».

Здесь предполагается, что предмет этой задачи, K^* , включает знания решающего из стереометрии, в том числе: модели объектов $\{k\}$ — «пирамида», «сторона», «высота», «треугольник» и др.; свойства и отношения $\{R_h\}$ — «правильная», «четырёхугольная», «усеченная», «сторона нижнего основания (пирамиды)» и др.

Характерной особенностью актуального состояния этой задачи является наличие в его составе отношения $R_{ин}$ («ИЗВЕСТНО — НЕИЗВЕСТНО»),

$R_{ин}$	Наименование компонента	Обозначение	Полнота информации
	Правильная четырехугольная усеченная пирамида	A	известно
	Высота	h	известно
	Сторона верхнего основания	a	известно
	Сторона нижнего основания	b	известно
	Объем A	V_A	неизвестно

Требование задачи $K_{тр}^{**}$ состоит в нахождении неизвестного решающему функционального отношения $X(A, V_A, a, b, h)$.

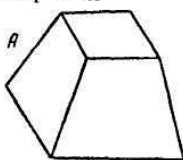
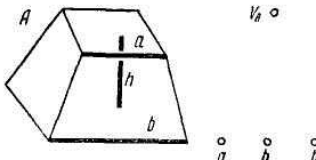
Согласно нашей классификации задач, приведенной ранее, данная задача относится к идеально-направленным (K^* и $K_{тр}^{**}$) познавательным задачам.

Задача отнесена к решающей системе, обладающей необходимыми знаниями для ее решения без доступа к внешней информации.

Кроме того, задача является внешней, теоретической и нерутинной, так как предполагается, что решающий не располагает ни готовым

результатом (т. е. формулой $X(A, V_A, a, b, h)$), ни алгоритмом или квазиалгоритмом для вывода формулы объема усеченной пирамиды С другой стороны, решающий располагает необходимыми для решения этой задачи: операторами первого рода $\{\omega\}$ — сложением, вычитанием, подстановкой и др ; полным набором операций второго рода, т. е. операторами $\{\theta\} = \{\alpha, \beta, \gamma, \varkappa, \eta, \xi\}$, введенными ранее.

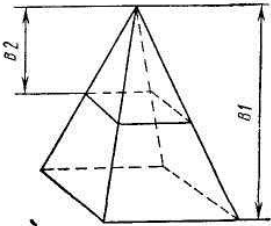
Анализ протокола решения задачи разбит на шаги, каждый из которых охватывает родственную или логически завершенную группу операций. Для упрощения обозначений будем избегать символов моделей второго (***) и выше порядка, обычных при решении идеально-направленных задач. Остальные обозначения соответствуют обозначениям, принятым в книге.

Номер шага	Протокол Д. Поля	Описание протокола																		
1	<p>«Что требуется? Мы задаем себе этот вопрос и стараемся как можно яснее вообразить форму тела, объем которого хотим найти (посмотрите на рисунок). Наш мысленный образ естественно интерпретировать как точку, — обозначим ее через V_A.</p>  <p>Но невозможно найти неизвестное, если мы про него ничего не знаем. Что дано? или <i>что у нас имеется?</i> — спрашиваем мы себя и останавливаем внимание на линиях фигуры, длина которых указана, т. е. на отрезках a, h, b. Наша мысленная картина изменилась, и отражением этого являются три точки, появившиеся на рисунке справа. Эти точки изображают данные»</p> 	<p>Здесь происходит образование в РС первой по порядку модели требуемого состояния предмета задачи из ее формулировки</p> $K_{\text{тр}, 1}^* = \alpha_1(\Phi Z_k) = (1)X(A, V_A, a, b, h).$ <p>Далее происходит образование в памяти первой по порядку модели актуального состояния предмета задачи из ее формулировки</p> $K_{\text{акт}, 1}^* = \beta_1(\Phi Z_k) = \{A, V_A, a, h, b, R_{\text{ин} 1}\}$ <table border="1" data-bbox="672 734 918 941"> <thead> <tr> <th>$R_{\text{ин} 1}$</th> <th>Обозначение компонента</th> <th>Полнота информации</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>b</td> <td>известно</td> </tr> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>известно</td> </tr> <tr> <td></td> <td>a</td> <td>известно</td> </tr> <tr> <td></td> <td>h</td> <td>известно</td> </tr> <tr> <td></td> <td>X</td> <td>неизвестно</td> </tr> </tbody> </table>	$R_{\text{ин} 1}$	Обозначение компонента	Полнота информации		b	известно		A	известно		a	известно		h	известно		X	неизвестно
$R_{\text{ин} 1}$	Обозначение компонента	Полнота информации																		
	b	известно																		
	A	известно																		
	a	известно																		
	h	известно																		
	X	неизвестно																		
2	<p>«... мы ставим своей целью связать неизвестное V_A с данными a, h, b — нам нужно ликвидировать разрыв между ними».</p>	<p>На этом шаге формируется с помощью оператора γ_1 модель L_1^* неизвестного пока вычисляемого функционального отношения над компонентом V_A требования задачи и компонентами a, h, b ее актуального состояния: $X(A, V_A, a, h, b)$.</p> <p>Если рассматривать L_1^* вместе с предметами a, h и b, то здесь также можно говорить о задачной системе ЗС₁. Отношение L_1^* связывает V_A с одной стороны, и A, a, b и h, — с другой, а также указывает на «разрыв» между V_A и $\{a, h, b\}$, так как связывающая функция X пока нам неизвестна.</p>																		

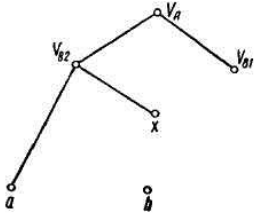
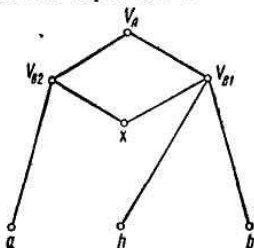
Номер шага	Протокол Д. Пойя	Описание протокола
3	«Но каким путем двигаться дальше, какой избрать курс? Если вы не в состоянии решить предложенную задачу, то...»	Мы считаем, что здесь Д. Пойя под «решить предложенную задачу» подразумевает попытку решающего найти (вспомнить) готовую формулу вида $X(A, V_A, a, b, h)$, т. е. здесь имели место операция κ_1 , результатом которой явилась выработка императива поиска $I_{\text{поиска}}$. Выделение подзадачи поиска—результат операции планирования η_1 . Соответствующие знания решающего могут быть представлены отношением вида $R_{\text{оф}}$ (ОБЪЕКТ, ФОРМУЛА ОБЪЕМА). Поиск не увенчался успехом: в $R_{\text{оф}}$ нет строки с формулой объема пирамиды A .
4	«...попробуйте найти близкую ей более легкую задачу. В нашем случае далеко ходить не надо. В самом деле, что представляет собой неизвестное? — Объем усеченной пирамиды. А что это за геометрическое тело? Как оно ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ? — Как часть полной пирамиды».	Здесь решающий в результате выполнения κ_2 вырабатывает следующий императив $I_{\text{пф}}$: «Сформулировать задачу Z_k' , близкую или аналогичную Z_k и притом такую, для которой у меня имеется больше знаний». Наличие дополнительных знаний, по новой задаче, например, знание формулы объема полной пирамиды, делает Z_k' более легкой для решающего.
5	...«Какая часть? — Часть, заключенная... Далее не будем продолжать, этого уже достаточно; сформулируем определение иначе. Усеченной пирамидой называется часть полной пирамиды, которая остается после отбрасывания малой пирамиды, отсекаемой плоскостью, параллельно основанию». «Если бы мы знали объемы этих двух пирамид, — обозначим их соответственно через V_{B1} и V_{B2} , — то можно было бы найти объем V_A усеченной пирамиды: $V_A = V_{B1} - V_{B2}$. Попытаемся найти объемы V_{B1} и V_{B2} — в этом состоит наша идея!»	Здесь происходит переформулирование задачи — получение $K_{\text{акт}}^*(2)$ с помощью операции $\beta_2(K_{\text{акт}}^*(1))$; $K_{\text{акт}}^*(2) = \{A, B1, B2, V_A, V_{B1}, V_{B2}, R_{\text{ин2}}\}$.

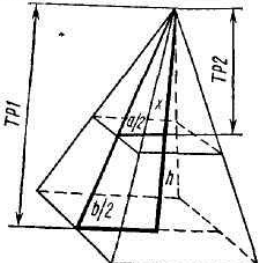
$R_{\text{ин2}}$	Обозначение компонента	Полнота информации
	A	известно
	V_A	неизвестно
	V_{B1}	неизвестно
	V_{B2}	неизвестно

Номер шага	Протокол Д. Пойя	Описание протокола															
3	<p>«Но каким путем двигаться дальше, какой избрать курс? Если вы не в состоянии решить предложенную задачу, то...»</p>	<p>Мы считаем, что здесь Д. Пойя под «решить предложенную задачу» подразумевает попытку решающего найти (вспомнить) готовую формулу вида $X(A, V_A, a, b, h)$, т. е. здесь имели место операция κ_1, результатом которой явилась выработка императива поиска $I_{\text{поиска}}$. Выделение подзадачи поиска—результат операции планирования η_1. Соответствующие знания решающего могут быть представлены отношением вида $R_{\text{оф}}$ (ОБЪЕКТ, ФОРМУЛА ОБЪЕМА). Поиск не увенчался успехом: в $R_{\text{оф}}$ нет строки с формулой объема пирамиды A.</p>															
4	<p>«...попробуйте найти близкую ей более легкую задачу. В нашем случае далеко ходить не надо. В самом деле, что представляет собой неизвестное? — Объем усеченной пирамиды. А что это за геометрическое тело? Как оно ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ? — Как часть полной пирамиды.»</p>	<p>Здесь решающий в результате выполнения κ_2 вырабатывает следующий императив $I_{\text{пф}}$: «Сформулировать задачу Z_k', близкую или аналогичную Z_k, и притом такую, для которой у меня имеется больше знаний». Наличие дополнительных знаний, по новой задаче, например, знание формулы объема полной пирамиды, делает Z_k' более легкой для решающего.</p>															
5	<p>«...Какая часть? — Часть, заключенная... Далее не будем продолжать, этого уже достаточно; сформулируем определение иначе. Усеченной пирамидой называется часть полной пирамиды, которая остается после отбрасывания малой пирамиды, отсекаемой плоскостью, параллельно основанию». «Если бы мы знали объемы этих двух пирамид,— обозначим их соответственно через V_{B1} и V_{B2}—то можно было бы найти объем V_A усеченной пирамиды: $V_A = V_{B1} - V_{B2}$. Попытаемся найти объемы V_{B1} и V_{B2}—в этом состоит наша идея!»</p>	<p>Здесь происходит переформулирование задачи — получение $K_{\text{акт}}^*(2)$ с помощью операции $\beta_2 (K_{\text{акт}}^*(1); K_{\text{акт}}^*(2) = \{A, B1, B2, V_A, V_{B1}, V_{B2}, R_{\text{ин2}}\})$.</p> <table border="1" data-bbox="683 1157 924 1356"> <tr> <td data-bbox="621 1173 677 1204">$R_{\text{ин2}}$</td> <td data-bbox="683 1157 784 1228">Обозначение компонента</td> <td data-bbox="784 1157 924 1228">Полнота информации</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="683 1228 784 1260">A</td> <td data-bbox="784 1228 924 1260">известно</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="683 1260 784 1292">V_A</td> <td data-bbox="784 1260 924 1292">неизвестно</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="683 1292 784 1324">V_{B1}</td> <td data-bbox="784 1292 924 1324">неизвестно</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="683 1324 784 1356">V_{B2}</td> <td data-bbox="784 1324 924 1356">неизвестно</td> </tr> </table>	$R_{\text{ин2}}$	Обозначение компонента	Полнота информации		A	известно		V_A	неизвестно		V_{B1}	неизвестно		V_{B2}	неизвестно
$R_{\text{ин2}}$	Обозначение компонента	Полнота информации															
	A	известно															
	V_A	неизвестно															
	V_{B1}	неизвестно															
	V_{B2}	неизвестно															

Номер шага	Протокол Д. Пойя	Описание протокола								
6	 <p>«Итак, мы свели первоначальную задачу о нахождении объема V_A к двум вспомогательным родственным ей задачам, а именно, к нахождению V_{B1} и V_{B2}».</p> <p>«Наша работа далеко еще не закончена; нам нужно найти два неизвестных V_{B1} и V_{B2}. Однако положение не кажется безнадежным; полная пирамида, как геометрическая фигура, нам лучше знакома, чем усеченная пирамида, и хотя вместо одного неизвестного V_A появились два неизвестных V_{B1} и V_{B2}, оба они одной и той же природы и находятся в одинаковом соотношении с данными величинами, соответственно с b и a. Мы приступили к ликвидации разрыва между неизвестными и данными; оставшаяся часть бреши уже первоначальной»</p> <p>«... решение задачи о нахождении V_A сводится к решению двух задач о нахождении V_{B1} и V_{B2}»</p>	<p>Далее операция γ_2 определяет отношение между объемами V_A, V_{B1} и V_{B2} как отношение целого и частей:</p> <table border="1" data-bbox="703 360 919 496"> <thead> <tr> <th>ЧАСТЬ</th> <th>Целое</th> <th>Часть 1</th> <th>Часть 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>V_{B1}</td> <td>V_{B2}</td> <td>V_A</td> </tr> </tbody> </table> <p>Операция планирования η_2 образует первый вариант плана P_2 решения Z_k:</p> <p>ФПЗ$_{k1}$: ОПРЕДЕЛИТЬ ФОРМУЛУ X_{B2} ОБЪЕМА ПИРАМИДЫ $B2$.</p> <p>ФПЗ$_{k2}$: ОПРЕДЕЛИТЬ ФОРМУЛУ X_{B1} ОБЪЕМА ПИРАМИДЫ $B1$.</p> <p>ФПЗ$_{k3}$: ОПРЕДЕЛИТЬ РАЗНОСТЬ ОБЪЕМОВ V_{B1} и V_{B2}, ПОЛУЧАЯ ОБЪЕМ V_A.</p> <p>Операция программирования ξ_1 осуществляет подстановку модели операции ВЫЧИТАНИЕ (V_{B1}, V_{B2}, V_A) или $V_A = V_{B1} - V_{B2}$ в план вместо ФПЗ$_{k3}$, а в отношении $R_{ин2}$ вместо строки $R_{ин2}(V_A, \text{НЕИЗВЕСТНО})$ заносится строка $R_{ин2}(V_A, \text{ИЗВЕСТНО})$.</p> <p>Здесь описывается выработка оценок $\{K_{тр}^*, K_{акт}^*\}$ до и после нахождения плана P_2. Согласно нашей модели процесс решения задачи оценки входит в операцию κ_3. Для выработки оценок λ_1 и λ_2 в протоколе Д. Пойя учитывается: <i>полнота</i> знаний о пирамиде $A \in K_{акт,1}^*$ и пирамидах $B1$ и $B2$. Для $B1$ и $B2$ решающий располагает формулой вычисления объема, входящей в отношение $R_{оф}$ (см. шаг 3 и 4); количество несвязанных неизвестных в сравниваемых множествах $\{K_{тр}^*(1), K_{акт}^*(1)\}$ и $\{K_{тр}^*(1), K_{акт}^*(2)\}$, (два $-V_{B1}$ и V_{B2} — во втором множестве вместо одного V_A в первом множестве); тип связи между неизвестными и данными. V_{B1} и V_{B2} находятся в</p>	ЧАСТЬ	Целое	Часть 1	Часть 2		V_{B1}	V_{B2}	V_A
ЧАСТЬ	Целое	Часть 1	Часть 2							
	V_{B1}	V_{B2}	V_A							

Номер шага	Протокол Д. Пойя	Описание протокола															
		<p>одинаковым отношении с b и a — сторонами оснований этих пирамид, т. е. в следующем отношении (R_B):</p> <table border="1" data-bbox="658 336 927 512"> <tr> <td>$V_B = \frac{1}{3}yz^2$</td> <td>Объект B</td> <td>Объем V_B</td> <td>Высота y</td> <td>Сторона основания z</td> </tr> <tr> <td></td> <td>B_1</td> <td>V_{B1}</td> <td>y_1</td> <td>b</td> </tr> <tr> <td></td> <td>B_2</td> <td>V_{B2}</td> <td>y_2</td> <td>a</td> </tr> </table>	$V_B = \frac{1}{3}yz^2$	Объект B	Объем V_B	Высота y	Сторона основания z		B_1	V_{B1}	y_1	b		B_2	V_{B2}	y_2	a
$V_B = \frac{1}{3}yz^2$	Объект B	Объем V_B	Высота y	Сторона основания z													
	B_1	V_{B1}	y_1	b													
	B_2	V_{B2}	y_2	a													
7	<p>«Что представляет собой неизвестное V_{B2}? — Объем пирамиды. Как можно получить такой объект? Какие нужны данные, чтобы получить такое неизвестное?... — Объем пирамиды можно вычислить, если известны две величины: площадь основания и высота пирамиды... высота пирамиды не дана, но ее можно попытаться найти. Обозначим ее через x. Тогда $V_{B2} = \frac{1}{3}a^2x$».</p>	<p>Для $\{K_{тр}^*(1), K_{акт}^*(2)\}$ благоприятных моментов больше, чем для первого множества, поэтому полученный план P_2 «утверждается» и РС приступает к решению подзадач, входящих в P_2. Происходит образование новой модели $K_{тр,2}^* = (IX_{B2})X_{B2}(B_2, V_{B2}, y_2)$, которая замещает после выполнения операции α_2 прежнюю модель $K_{тр,1}^*$ (см. шаг 1). Формируется также (после выполнения операции β_3) из $K_{акт,2}$ и знаний решающего, представленных отношением R_{Φ_0}, R_B, актуальное состояние предметной области подзадачи ПЗ$_{k1}$ $K_{акт,3} = \{B_2, V_{B2}, a, x, V_B = \frac{1}{3}yz^2, R_{ивз}\}$, где в $R_{ивз}$ V_{B2} и x отмечены, как неизвестные. После выполнения операции γ_3, отмечающей, что объем V_{B2} можно вычислить с помощью отношения R_B или $V_B = \frac{1}{3}yz^2$, и операции ζ_2, осуществляющей подстановку величин x и a вместо y и z, V_{B2} переводится из категории «неизвестно» в категорию «известно». Формула $V_{B2} = \frac{1}{3}a^2x$ — результат решения или требуемое состояние предмета подзадачи ПЗ$_{k1}$. Прежде чем перейти к решению подзадачи ПЗ$_{k2}$ РС оценивает (операция μ_4), насколько полученные решения ПЗ$_{k1}$ способствует решению первоначальной задачи Z_k. Для этого сравнивается множество</p>															
8	<p>Таким образом, к V_{B2} «можно прийти, отправляясь от x и a, т. е. V_{B2} может быть выражено через x и a. Хотя все еще остаются два неизвестных (в правой части рисунка все еще висают свободные концы), некоторый прогресс достигнут. Нам удалось связать неизвестное V_A по крайней мере с одной из данных величин, а именно с a».</p>	<p>$ZC_2 = \{K_{тр,1}^*, K_{акт,2}^*, \Phi_B^*(V_{B1}, V_{B2}, V_A)\}$</p>															

Номер шага	Протокол Д. Пойя	Описание протокола
9	 <p>«Следующий шаг теперь, конечно, очевиден. Незвестные V_{B2} и V_{B1} имеют одинаковую природу, ...мы уже нашли выражение для объема V_{B2} через основание и высоту, аналогично можно выразить и объем V_{B1}.</p> $V_{B1} = 1/3 b^2 (x+h).$ <p>«На правой половине рисунка появились три новые наклонные линии, соединяющие V_{B1} с b, h и x. Эти линии указывают, что к V_{B1} можно прийти, отправляясь от b, h и x, т. е. что V_{B1} может быть выражено через b, h и x».</p> 	<p>с множеством</p> $Z_{C2} = \{K_{TP}^*, 1, K_{акт}^*, 3, \omega_B^* (V_{B1}, V_{B2}, V_A), V_{B2} = 1/3 a^2 x\}$ <p>и вырабатываются сравнительные оценки λ_3 и λ_4 положения после 7-го и после 8-го шага. Сравнение в пользу ситуации после 8-го шага, так как количество неизвестных не возросло, но удалось ввести в полученную промежуточную формулу одно известное (a).</p> <p>Процедура решения подзадачи ПЗ_{k2} полностью аналогична процедуре решения ПЗ_{k1}, так как неизвестные V_{B2} и V_{B1} входят в одно и то же отношение R_B (см: шаг б). Процедура $\Sigma_{ПЗ2}$ включает операции $\alpha_3, \beta_4, \gamma_4, \zeta_4$ и κ_6, выполняемые над операндами того же вида, что и при решении ПЗ_{k1} с простой заменой $B2$ на $B1$, a на b и x на $(x+h)$. Получение результата — формулы $V_{B1} = 1/3 b^2 \times (x+h)$ — сопровождается операцией κ_5, положительно оценивающей продвижение в решении Z_k. Вместо плана P_2 у нас появился фрагмент программы решения Z_k:</p> <ul style="list-style-type: none"> ω_1^* :ВЫЧИСЛИТЬ $V_{B2} = 1/3 a^2 x$ ω_2^* :ВЫЧИСЛИТЬ $V_{B1} = 1/3 b^2 (x+h)$ ω_3^* :ВЫЧИСЛИТЬ $V_A = V_{B1} - V_{B2}$.
10	<p>«Таким образом, остается только одна нависающая точка, не связанная с данными—точка x. Свободное пространство еще более сузилось: теперь такое пространство имеется лишь между x и данными величинами». «Как можно найти такое неизвестное? Как можно получить подобный объект? Длина отрезка проще всего вычисляется с помощью треугольного, если это возможно) или на основании подобия двух треугольников. На нашей фигуре под-</p>	<p>Выделяется, с помощью операции планирования η_3 очередная (и последняя) подзадача ПЗ_{k4} в решении Z_k: «Найти высоту x пирамиды $B2$». Решение этой подзадачи выполняется с помощью тех же операторов α, β, γ аналогично предыдущим подзадачам.</p> <p>Из отношения подобия треугольников TP_1 и TP_2 (см. рисунок) строится с помощью операции ζ_4 программа решения ПЗ_{k4}, представляющая собой очередной компонент программы решения Z_k:</p>

Номер шага	Протокол Д. Поля	Описание протокола
	<p>ходящего треугольника нет; кроме того, нам еще нужно, чтобы отрезок x был одной из его сторон. Такой треугольник мог бы лежать, например, в плоскости, проходящей через высоту малой пирамиды с объемом V_{B2}; эта плоскость проходила бы тогда также через высоту большой пирамиды с объемом V_{B1}, которая подобна малой пирамиде».</p> <p>Да, нам нужны именно эти подобные треугольники, лежащие в плоскости, проведенной через высоту и параллельной стороне основания одной из наших пирамид».</p> 	$\omega_4^*: \text{ВЫЧИСЛИТЬ } x \text{ из } \frac{x}{x+h} = \frac{a/2}{b/2} = \frac{a}{b}.$
11	<p>«Мы начинаем вторую часть нашей работы там, где была закончена первая. Прежде всего мы принимаемся за введенное нами ранее неизвестное x; из последнего равенства $\frac{x}{x+h} = \frac{a}{b}$ получаем $x = \frac{ah}{b-a}$. Затем мы подставляем это значение x в два предыдущих равенства $V_{B2} = 1/3 a^2 x$ и $V_{B1} = 1/3 b^2 (x+h)$ и находим $V_{B2} = \frac{a^3 h}{3(b-a)}$; $V_{B1} = \frac{b^3 h}{3(b-a)}$. Наконец, мы используем равенство, впервые выписанное в п. 5: $V_A = V_{B1} - V_{B2} = \frac{a^2 + ab + b^2}{3} h$. Это и есть искомое выражение».</p>	<p>Здесь программа $\langle \omega_1^*, \omega_2^*, \omega_3^*, \omega_4^* \rangle$ решение 3_k осуществляется решающей системой; выполняется каждая из указанных ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ операций над выражениями:</p> $D_1: \frac{x}{x+h} = \frac{a}{b}; D_2: V_{B2} = \frac{a^2 x}{3}; D_3: V_{B1} = \frac{b^2 (x+h)}{3} D_4: V_A = V_{B1} - V_{B2}$ $\omega_1(D_1) = \left(x = \frac{ah}{b-a} \right);$ $\omega_2(D_2, D_1) = \left(V_{B2} = \frac{a^3 h}{3(b-a)} \right);$ $\omega_3(D_3, D_1) = \left(V_{B1} = \frac{b^3 h}{3(b-a)} \right);$ $\omega_4(D_2, D_3, D_4) = \left(V_A = \frac{a^2 + ab + b^2}{3} h \right).$ <p>Результат ω_4 является искомой формулой или требуемым состоянием предметной области нашей задачи.</p>

Б. Теоретико-множественное представление свертывания процедуры решения математических задач (по С. И. Шапиро). Свертывание процедуры решения задачи представляет собой не механическое уменьшение числа операций, необходимых для получения результата, не исключение, а скорее совмещение, включение одних операций в состав других, новых или уже имеющихся, когда несколько операций выступают как одна. Так, при начальном уровне усвоения учащимся понятия высоты треугольника, процедура Σ_1 распознавания высоты включает, наряду с другими, следующие операции.

Обозначение операции	Описание операции
σ_1	Проверить, является ли вершина треугольника одним из концов рассматриваемого отрезка
σ_2	Найти противоположную сторону треугольника
σ_3	Проверить принадлежность второго конца отрезка противоположной стороне
σ_4	Продолжить противоположную сторону
σ_5	Проверить принадлежность второго конца отрезка продолжению противоположной стороны

По мере увеличения числа n выполнений этой процедуры, как показывает эксперимент, происходит ее свертывание за счет объединения операций σ_2 и σ_3 , а также σ_4 и σ_5 , т. е. вместо множества операций $\{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5\}$, входящих в Σ_1 возникает множество $\{\sigma_1, \sigma_{23}, \sigma_{45}\}$. Здесь σ_{23} соответствует объединению операций σ_2 и σ_3 , σ_{45} — операций σ_4 и σ_5 .

После n -го выполнения процедуры Σ_1 возникает множество $\{\sigma_1, \sigma_{23}, \sigma_{45}\}$, в котором вместо элементов $\sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5$ образовались новые элементы $\{\sigma_2, \sigma_3\}$ и $\{\sigma_4, \sigma_5\}$, оформившиеся впоследствии как специальные операции σ_{23} и σ_{45} . Число элементов в процедуре Σ_1 уменьшилось на два.

Литература

1. Гибсон Дж. Экологический подход к зрительному восприятию. М., 1988;
2. Заблуждающийся разум: многообразие внеучного знания. М., 1990;
3. Касавин И.Т. Миграция. Креативность. Текст. Проблемы неклассической теории познания. СПб., 1998;
4. Коул М., Скрибнер С. Культура и мышление. М., 1977;
5. Лекторский В.А. Субъект. Объект. Познание. М., 1980;
6. Малкей М. Наука и социология знания. М., 1983;
7. Найссер У. Познание и реальность. М., 1981;
8. Огурцов А.П. Дисциплинарная структура науки. М., 1988;
9. Розов М.А. Знание и механизмы социальной памяти. – В кн.: На пути к теории научного знания. М., 1984;
10. Степин В.С. Становление научной теории. Минск, 1976;
11. Тулмин С. Человеческое понимание. М., 1984;
12. Филатов В.П. Научное познание и мир человека. М., 1989;
13. Фуко М. Слова и вещи. М., 1977;
14. Хьюбнер К. Критика научного разума. М., 1996;
15. Щавелев С. Практическое познание. Воронеж, 1994;
16. Bloor D. Wittgenstein: A Social Theory of Knowledge. N. Y., 1983;
17. The Cognitive Turn: Sociological and Psychological Perspectives on Science, 1989;
18. Fuller S. Social Epistemology. Bloomington, 1988; Goldman A. Epistemology and Cognition. Cambr. 1986;
19. Latour B., Woolgar S. Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts. L., 1979;
20. Popper K.R. Objective Knowledge. Oxf., 1979;
21. Schon D. Displacement of Concepts. L., 1963;
22. Vollmer G. Evolutionäre Erkenntnistheorie. Stuttg., 1980.

23. Бердяев Н. А. Смысл творчества. Опыт оправдания человека. М., 1916;
24. Грузенберг С. О. Гений и творчество. Л., 1924;
25. Степун А. Л. Жизнь и творчество. Берлин, 1923;
26. Теория творчества. СПб., 1910;
27. Художественное и научное творчество. Л., 1972;
28. Дышлевый П. С., Яценко Л. В. Регуляция творческой деятельности (философско-методический анализ). Воронеж, 1996;

29. Яценко Л. В. Способы управления творческим процессом.— В кн.:
30. Природа научного открытия. М., 1986;
31. *Абульханова-Славская К. А.* Деятельность и психология личности. М., 1980.
32. *Аганисян В. М.* Развитие творческого мышления студентов-педагогов // Вопросы психологии. 1982. № 6.
33. *Александров Г. Н.* К проблеме соотношения алгоритмических и эвристических процессов при обучении решению задач//Науковедение, прогнозирование и информатика. Вып. 1. Киев, 1970.
34. *Альшиуллер Г. С.* Найти идею: Введение в теорию решения изобретательских задач. Новосибирск, 1986.
35. *Андреевская В. В.* Влияние регламентированного общения учащихся на их деятельность по анализу сюжетных изображений // Учебный материал и учебные ситуации / Под ред. Г. С. Костюка, Г. А. Балла. Киев, 1986.
36. *Антоновский М. Я.* Простота восприятия – важная часть понятия наглядности//Математика в школе. 1971. № 4.
37. *Асмолов А. Г.* Деятельность и установка. М., 1979.
38. *Бабанский Ю. К.* Оптимизация учебно-воспитательного процесса. М., 1982.
39. *Балк М. Б., Петров В. А.* О математизации задач, возникающих на практике//Математика в школе. 1986. № 3.
40. *Балл Г. О.* Перспективы вдосконалення логічної підготовки школярів // Радянська школа. 1972. № 9.
41. *Балл Г. А.* Система понятий для описания объектов приложения интеллекта // Кибернетика. 1979. № 2.
42. *Балл Г. А., Довгялло А. М.* К уточнению понятия задачи // Науковедение, прогнозирование и информатика. Вып. 2. Киев, 1970.
43. *Балл Г. А., Довгялло А. М., Злочевская Л. А., Иванченко Б. Г., Машибиц Е. И.* Исследование обучающих программ с различным размером шага // Программированное обучение. Вып. 4 – 5. Киев, 1969.
44. *Балл Г. А., Довгялло А. М., Машибиц Е. И.* Теоретический анализ обучающих программ: Сообщение I//Новые исследования в педагогических науках. 1965. Вып. IV.
45. *Балл Г. А., Маргулис Е. Д., Рыбалка В. В., Чмут Т. К., Самойлов А. Е.* Исследования процесса постановки задачи и их педагогическое значение//Программированное обучение. Вып. 20. Киев, 1983.
46. *Балл Г. А., Рычик М. В.* Учебный материал и его психологическая структура//Учебный материал и учебные ситуации/Под

- ред. Г. С. Костюка, Г. А. Балла. Киев, 1986.
47. *Балл Г. А., Таранов Л. Н.* Многоуровневые обучающие программы как средство оптимизации процесса понимания учебного материала//Программированное обучение Вып. 13. Киев, 1976.
 48. *Балл Г. О, Таранов Л. М.* Особистісний підхід до визначення цілей виховання та шляхів їх досягнення // Психологія. Вип. 32. Київ, 1989.
 49. *Балл Г. А., Чмут Т. К.* Разработка заданий развивающего характера на базе сюжетных математических задач//Учебный материал и учебные ситуации / Под ред. Г. С. Костюка, Г. А. Балла. Киев, 1986.
 50. *Батищев Г.-* Воспитание в общении//Учительская газета. 1988. 31 марта.
 51. *Беликов Б. С.* Решение задач по физике: Общие методы. М., 1986.
 52. *Бернштейн Н. А.* Физиология движений и физиология активности. М., 1966.
 53. *Беспалько В. П.* Программированное обучение (дидактические основы). М., 1970.
 54. *Беспалько И. И.* Доступность учебного материала // Советская педагогика. 1987. № 5.
 55. *Беспалько Л. В.* Использование поэлементного анализа трудовых умений для совершенствования обучения труду // Школа и производство. 1983. № 3.
 56. *Бим И. Л.* Подход к проблеме упражнений с позиций иерархии целей и задач//Иностранные языки в школе. 1985. № 5.
 57. *Бирюков Б. В.* Кибернетика и методология науки. М., 1974.
 58. *Богданов Н. И.* Основы теории задачников // Проблемы высшей школы. Вып. 38. Киев, 1979.
 59. *Богоявленская Д. Б.* Интеллектуальная активность как проблема творчества. Ростов-на-Дону, 1983.
 60. *Богоявленский Д. Н., Менчинская Н. А.* Психология усвоения знаний в школе. М., 1959.
 61. *Болтянский В. Г.* Формула наглядности – изоморфизм плюс простота//Советская педагогика. 1970. № 5.
 62. *Болтянский В. Г.* Аналогия – общность аксиоматики//Советская педагогика. 1975. № 1.
 63. *Болтянский В. Г.* Функции учебного оборудования и организация поиска решения задачи // Советская педагогика. 1975. № 10.
 64. *Бондаренко С. М.* Анализ психологических факторов трудности учебных заданий (обзор отечественной литературы) // Психологические проблемы построения школьных учебников/Под ред. Г. Г. Граник. М., 1978.
 65. *Бона Э. де.* Рождение новой идеи. М., 1976.

66. *Бор Н.* Атомная физика и человеческое познание. М., 1961.
67. *Брадис В. М.* Методика преподавания математики в средней школе. М., 1954.
68. *Брудный А. А.* Понимание как компонент психологии чтения//Проблемы социологии и психологии чтения / Ред.-сост. Э. Г. Храстецкий. М, 1975.
69. *Брудный А. А., Шрейдер Ю. А.* Коммуникация и интеллект // Генетические и социальные проблемы интеллектуальной деятельности / Под ред. М. М. Муканова. Алма-Ата, 1975
70. *Брушлинский А. В.* Психология мышления и кибернетика. М., 1970.
71. *Брушлинский А. В.* Мышление и прогнозирование. М., 1979.
72. *Васильев И. А., Поплужный В. Л., Тихомиров О. К.* Эмоции и мышление. М., 1980.
73. *Веселова Т. С.* Художественно-творческая деятельность учащихся в процессе изучения сказки // Литература в школе. 1984. № 3.
74. *Вельтнер.* Информационно психологический подход в педагогике//Зарубежная радиоэлектроника. 1968. № 12.
75. *Венда В. Ф.* Многовариантность процессов решения и концепция инженерно-психологического проектирования // Инженерная психология. М., 1977.
76. *Войтко В. И., Балл Г. А.* Категория модели и ее роль в педагогических исследованиях // Программированное обучение. Вып. 15. Киев, 1978.
77. *Воробьев Г. В.* Проблема методов исследования в педагогике//Советская педагогика. 1980. № 6.
78. *Выготский Л. С.* Собр. соч.: В 6 т. Т. 2. М., 1982.
79. *Гальперин П. Я.* Психология мышления и учение о поэтапном формировании умственных действий//Исследования мышления в советской психологии / Под ред. Е. В. Шороховой М., 1966.
80. *Гальперин П. Я.* К теории программированного обучения. М., 1967.
81. *Гальперин, П. Я.* Введение в психологию. М., 1976.
82. *Гергей Т., Машбиц Е. И.* К характеристике модели решения учебных задач//Вопросы психологии. 1973. № 6.
83. *Гергей Т., Машбиц Е. И.* Место задачи в деятельности//Теория задач и способов их решения. Киев, 1973.
84. *Гершунский Б. С.* О статусе ведущих дидактических понятий//Советская педагогика. 1981. № 7.
85. *Гилфорд Дж.* Три стороны интеллекта // Психология мышления. М., 1965.
86. *Гильбух Ю. З.* Стандартизованная методика оценивания и тренировки интеллектуальных способностей учащихся // Программированное обучение. Вып. 12. Киев, 1975.

87. Гильбух Ю. З., Ричик М. В. Актуальні психологічні питання застосування проблемного навчання//Радянська школа. 1974. № 8.
88. Глушков В. М., Брановицкий В. И., Довгялло А. М., Рабинович З. Л., Стогний А. А. Человек и вычислительная техника. Киев, 1971.
89. Годер Г. И. Образное задание в V классе//Преподавание истории в школе. 1984. № 6.
90. Гончаров И. Ф. Совершенствовать содержание литературного образования//Советская педагогика. 1985. № 3.
91. Гохват Б. А. Формирование у учащихся общих методов построения алгоритмов преобразования: Автореф. канд. дис. М., 1970.
92. Гродська Н. В. До питання про особливості навчальних пізнавальних задач // Психологія. Вип. 4. Київ, 1967.
93. Груденов Я. И. Психологическое обоснование целесообразности широкого использования задач, не имеющих решений//Новые исследования в педагогических науках. 1964 Вып. II.
94. Груденов Я. И. Психолого-дидактические основы методики обучения математике. М, 1987.
95. Гурова Л. Л. Психологический анализ решения задач Воронеж. 1976.
96. Искандер Ф. О движении к добру и технологии глупости // Литературная газета. 1986. 30 июля.
97. Кандарацкова Н. М., Суходольский Г. В. Об эффективности и надежности элементарных вычислительных операций // Экспериментальная и прикладная психология / Учен. зап. ЛГУ: Серия психол. Т. 1. Л., 1968.
98. Капица П. Л. Эксперимент, теория, практика. М., 1974.
99. Каплан Б. С., Рузин Н. К., Столяр А. А. Методы обучения математике. Минск, 1981.
100. Кикоин И. К. Философские идеи Ленина и развитие современной физики//Наука и жизнь. 1970. № 2.
101. Клейман Я. М. Решение задач различными способами //Математика в школе. 1987. № 6.
102. Кликке Ф. Понятие информации и теория информации в психологии: границы и возможности // Психологический журнал. 1980. Т. 1. № 4.
103. Колесников М., Потапов М. О вступительных экзаменах в физико-математическую школу-интернат при МГУ // Наука и жизнь. 1969. № 1.
104. Колпаков А. А. Элементы алгоритмизации при обучении учащихся VI и VII классов//Физика в школе. 1981. № 3.
105. Калягин Ю. М. Функции задач в обучении математике и развитии мышления школьников // Советская педагогика. 1974. № 6.

106. *Калягин Ю. М.* Задачи в обучении математике. Ч. I – II. М., 1977.
107. *Кондаков Н. И.* Логический словарь-справочник. М., 1975.
108. *Коришунув А. М.* Теория отражения и творчество. М., 1971.
109. *Костюк Г. С.* Навчання і психічний розвиток учнів // Психологічна наука, вчитель, учень / За ред. В. І. Войтка. Київ, 1979.
110. *Костюк Г. С.* Избр. психол. труды. М., 1988.
111. *Костюк Г. С., Балл Г. А.* Категория задачи и ее значение для психолого-педагогических исследований // Вопросы психологии. 1977. № 3.
112. *Костюк Г. С., Балл Г. А., Машбиц Е. И.* О задачном подходе к исследованию учебной деятельности // Психология человеческого учения и решение проблем: 2-я Пражская конференция: Резюме. Прага. 1973.
113. Кононюк А.Е. Концепция развития науки и совершенствование высшего образования и начала ее реализации. — К.: «Освіта України», 2011. - 140 с.
114. Кононюк А.Е. Обообщенная теория познания и созидания. Книга 1. — К.: «Освіта України», 2013. - 544 с.
115. Кононюк А.Е. Информациология. Общая теория информации. Книга 1. — К.: «Освіта України», 2012. - 488 с.
116. Кононюк А.Е. Информациология. Общая теория информации. Книга 2. — К.: «Освіта України», 2012. - 476 с.
117. Кононюк А.Е. Информациология. Общая теория информации. Книга 3. — К.: «Освіта України», 2012. - 412 с.
118. Кононюк А.Е. Информациология. Общая теория информации. Книга 4. — К.: «Освіта України», 2012. - 488 с.
119. Кононюк А. Е. Системология. Общая теория систем. Книга 1 (Начала). К.: «Освіта України». - 2012. — 564 с.
120. Кононюк А.Е. Вища математика. Книга 1. К.: КНТ, – 2009. – 680 с.
121. Кононюк А.Е. Вища математика. Книга 2. К.: КНТ, – 2009. – 784 с.
122. Кононюк А.Е. Дискретная математика. (Множества, отношение, пространства). Книга 1, Часть 1. К.: «Освіта України», – 2012. – 452 с.
123. Кононюк А.Е. Дискретная математика. (Множества, отношение, пространства). Книга 1, Часть 2. К.: «Освіта України», - 2012.-536 с.
124. Кононюк А.Е. Дискретная математика. (Алгебры). Книга 2, Часть 1. К.: «Освіта України», 2012. – 452 с.
125. Кононюк А.Е. Дискретная математика. (Алгебры). Книга 2, Часть 2. К.: «Освіта України», 2012. - 668 с.

126. Кононюк А.Е. Дискретная математика. (Матрицы). Книга 3, Часть 1. К.: «Освіта України», 2012. – 612 с.
127. Кононюк А.Е. Дискретная математика. (Матрицы). Книга 3, Часть 2. К.: «Освіта України», 2012. – 500 с.
128. Кононюк А.Е. Дискретная математика. (Матрицы). Книга 3, Часть 3. К.: «Освіта України», 2012. – 520 с.
129. Кононюк А.Е. Дискретная математика. (Матрицы). Книга 3, Часть 4. К.: «Освіта України», 2012. – 508 с.
130. Кононюк А.Е. Дискретная математика. (Матрицы). Книга 3, Часть 5. К.: «Освіта України», 2012. – 672 с.
131. Кононюк А. Е. Общая теория распознавания. К.1. К.: "Освіта України", 2012. - 584 с.
132. Кононюк А. Е. Общая теория распознавания. К.2. К.4: "Освіта України", 2012. - 588 с.
133. Кононюк А.Е. Консалтология. Общая теория консалтинга. К.1. К.: "Корнійчук", 2009. - 448 с.
134. Кононюк А.Е. Консалтология. Общая теория консалтинга. К.2. К.: "Корнійчук", 2009. - 412 с.
135. Кононюк А.Е. Консалтология. Общая теория консалтинга. К. 3. К.: "Освіта України". 2011. - 520 с.
136. Кононюк А.Е. Консалтология. Общая теория консалтинга. К. 4. К.: "Освіта України", 2011. - 508 с.
137. Кононюк А.Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента). Книга 1. К.: КНТ, 2011.- 508 с.
138. Кононюк А.Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента). Книга 2. К.: КНТ, 2011.- 453 с.
139. Кононюк А.Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента). Книга 3. К.: «Освіта України», 2011. – 470 с.
140. Кононюк А.Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента). Книга 4. К.: «Освіта України», 2011. – 492 с.
141. Кононюк А. Е. Обобщенная теория моделирования. К.1.Ч.1 К.: "Освіта України", 2012. - 602 с.
142. Кононюк А. Е. Обобщенная теория моделирования. К.1.Ч.2 К.: "Освіта України", 2012. - 708 с.
143. Кононюк А. Е. Обобщенная теория моделирования. К.1.Ч.3 К.: "Освіта України", 2012. - 568 с.
144. Кононюк А. Е. Обобщенная теория моделирования. К.2. К.: "Освіта України", 2012. - 548 с.
145. Кононюк А. Е. Обобщенная теория моделирования. К.3.Ч.1 К.: "Освіта України", 2012. - 636 с.
146. Кононюк А.Е. Нейронні мережі і генетичні алгоритми. К.: «Корнійчук», – 2008. – 446 с.

147. Кононюк А.Е. Базовая теория оптимизации. К.1 (Начала). К.: "Освіта України", 2012. - 692 с.
148. Кононюк А.Е. Базовая теория оптимизации. К.2. Ч.1 (Безусловная оптимизация). К.: "Освіта України", 2012. - 552 с.
149. Кононюк А.Е. Базовая теория оптимизации. К.2. Ч.2 (Безусловная оптимизация). К.: "Освіта України", 2012. - 616 с.
150. Кононюк А.Е. Базовая теория оптимизации. К.2. Ч.3 (Безусловная оптимизация). К.: "Освіта України", 2012. - 456 с.
151. Кононюк А.Е. Базовая теория оптимизации. К.2. Ч.4 (Безусловная оптимизация). К.: "Освіта України", 2012. - 512 с.
152. Куликов С. Б. Вопросы становления предметной и проблемной области философии науки. — Томск, 2005. — 200 с.
153. Куликов С. Б. Основы философского анализа науки: методология, смысл и цель. — Томск, 2005. — 184 с.
154. Степин В. С., Елсуков А. Н. Методы научного познания. — Минск, 1974 – 152 с.
155. Петров Ю. И. Методологические вопросы анализа научного знания.— М.: Высшая школа, 1977. 224 с.
156. Бургин М.С., Кузнецов В.И. Введение в современную точную методологию науки. Структуры систем знания. - М., 1994.
157. Ильин В.В. Теория познания. Введение. Общие проблемы. - М., 1994.
158. Руткевич М.И., Лойфман И.Я. Диалектика и теория познания. - М., 1994.
159. Рыбаков Н.С. Факт. Бытие. Познание. - М., 1994. Бургин М.С.,
160. Кузнецов В.И. Введение в современную точную методологию науки. Структуры систем знания. - М., 1994.

Научно-практическое издание

Кононюк Анатолий Ефимович

Обобщенная теория познания и созидания

Книга 2

Теория познания

Часть 1

Авторская редакция

Подписано в печать 25.03.2012 г.

Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 16,5. Тираж 300 экз.

Издатель и изготовитель:

Издательство «Освита Украины»

04214, г. Киев, ул. Героев Днепра, 63, к. 40

Свидетельство о внесении в Государственный реестр
издателей ДК №1957 от 23.04.2009 г.

Тел./факс (044) 411-4397; 237-5992

E-mail: osvita2005@ukr.net, www.rambook.ru

Издательство «Освита Украины» приглашает

авторов к сотрудничеству по выпуску изданий,
касающихся вопросов управления, модернизации,
инновационных процессов, технологий, методических
и методологических аспектов образования
и учебного процесса в высших учебных заведениях.

Предоставляем все виды издательских
и полиграфических услуг