

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Южно-Уральский государственный университет  
Кафедра «Экономическая безопасность»

658(07)  
Л655

В.В. Лихолетов, Я.Д. Гельруд

**УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ  
(ОРГАНИЗАЦИЕЙ). МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ  
И ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

Учебное пособие

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2020

УДК 658.1(075.8)  
Л655

*Одобрено  
учебно-методической комиссией  
Высшей школы экономики и управления*

*Рецензенты:  
М.А. Пестунов, Т.Ю. Савченко*

**Лихолетов, В.В.**  
Л655 **Управление предприятием (организацией). Методы решения задач и принятия управленческих решений:** учебное пособие / В.В. Лихолетов, Я.Д. Гельруд. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2020. – 360 с.

Пособие поддерживает изучение студентами дисциплины «Управление предприятием (организацией)» по важнейшим аспектам разработки и принятия управленческих решений. В нем приведены основные понятия теории принятия управленческих решений, основные подходы, методы и модели решения задач и принятия решений в современных организациях (эвристического и экономико-математического типов). В нем использованы результаты исследований, выполненных в области теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), теории систем и функционально-стоимостного анализа систем (ФСА), а также некоторые результаты собственных разработок авторов.

Предназначено для студентов специальности 38.05.01 «Экономическая безопасность», изучающих дисциплину «Управление предприятием (организацией)». Приведена необходимая для изучения литература [1–66].

Пособие также может быть полезно управленческому персоналу предприятий и организаций.

УДК 658.1(075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
РАЗДЕЛ 1. ЭВРИСТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ И ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ОРГАНИЗАЦИЕЙ	
ТЕМА 1.1. ПОНЯТИЕ О СВЯЗИ ОШИБОК В ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ .....	10
1.1.1. Обзор концепций возникновения человеческих ошибок.....	12
1.1.2. Источники и характер появления управленческих ошибок .....	24
1.1.3. Понятие об организационных дисфункциях и патологиях управленческих решений.....	28
ТЕМА 1.2. ПРОБЛЕМЫ ВОСПРИЯТИЯ И ПОНИМАНИЯ ЧЕЛОВЕКОМ ДИНАМИЧНОГО ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА	
1.2.1. Психологические проблемы внимания человека, понятие о стереотипах мышления и механизме их возникновения.....	31
1.2.2. Понятие о психоинерции, её видах и способах преодоления.....	34
ТЕМА 1.3. СЛОЖНОСТЬ ПРОЦЕССА МЫШЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА И ПОНЯТИЕ О ЕГО МОДЕЛИРОВАНИИ	
1.3.1. Понятие мышления и способы его моделирования.....	38
1.3.2. Краткий обзор моделирования мышления человека .....	56
ТЕМА 1.4. ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА И РОЛЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ В НЕЙ	
1.4.1. Понятие о целенаправленной деятельности человека и её связи с мыследеятельностью .....	64
1.4.2. Мышление как процесс решения задач. Функциональная природа задачных систем и их типология .....	66
ТЕМА 1.5. УПРАВЛЕНЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ	
1.5.1. Понятие об управленческом решении и общей модели его принятия в процессе управления .....	78
1.5.2. Классификация управленческих решений, формы их разработки и реализации.....	82
1.5.3. Понятие качества управленческого решения .....	85
ТЕМА 1.6. ОСНОВНЫЕ ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	
1.6.1. Типология методов принятия управленческих решений .....	86
1.6.2. Распространенные методы диагностики проблем .....	87
1.6.3. Понятие об основных методах генерации альтернатив .....	94
1.6.4. Место и роль ТРИЗ среди методов создания идей .....	98
1.6.5. Критериальный аппарат оценки альтернатив.....	117

ТЕМА 1.7. ПОНЯТИЕ О СПОСОБАХ, ПОДХОДАХ И СТИЛЯХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	
1.7.1. Сущность существующих способов принятия решений.....	122
1.7.2. Базовые подходы в сфере принятия решений .....	129
1.7.3. Понятие об основных стилях принятия решений .....	136
ТЕМА 1.8. ПОНЯТИЕ СРЕДЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ .....	140
1.8.1. Методы выбора альтернатив в условиях определенности.....	143
1.8.2. Методы выбора альтернатив в условиях риска.....	144
1.8.3. Методы выбора альтернатив в условиях неопределенности.....	146
1.8.4. Совещание в деле принятия решений .....	147
1.8.5. Роль прогнозирования в деле принятия управленческих решений .....	152
РАЗДЕЛ 2. ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ	
ТЕМА 2.1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	
2.1.1. Этапы математического моделирования .....	163
2.1.2. Основные понятия математического моделирования .....	164
2.1.3. Основные типы экономико-математических моделей .....	167
2.1.4. Примеры экономико-математических моделей.....	168
ТЕМА 2.2. ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ	
2.2.1. Моделирование задачи оптимизации производства методами линейного программирования.....	171
2.2.2. Геометрическая интерпретация задачи линейного программирования.....	173
2.2.3. Общая задача линейного программирования.....	175
2.2.4. Устойчивость оптимального решения .....	178
2.2.5. Объективно-обусловленные оценки .....	179
2.2.6. Двойственная задача линейного программирования .....	180
2.2.7. Применение основной задачи линейного программирования к решению некоторых экономических задач .....	183
ТЕМА 2.3. ЗАДАЧИ ТРАНСПОРТНОГО ТИПА	
2.3.1. Экономико-математическая модель транспортной задачи.....	187
2.3.2. Исходный опорный план .....	191
2.3.3. Распределительный метод решения транспортной задачи .....	193
2.3.5. Вырожденные случаи. Открытая транспортная задача.....	201
ТЕМА 2.4. ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ	
2.4.1. Построение сетевых графиков .....	203
2.4.2. Временные параметры сетевого графика.....	207
2.4.3. Методы оптимизации сетевого графика .....	213
2.4.4. Организационные аспекты применения сетевых моделей .....	215
2.4.5. Примеры использования сетевых моделей .....	217

ТЕМА 2.5. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ	
2.5.1. Экономическое содержание задач управления запасами.....	230
2.5.2. Детерминированная статическая модель без дефицита.....	232
2.5.3. Детерминированная статическая модель с дефицитом.....	234
2.5.4. Простая вероятностная модель.....	235
2.5.5. Примеры решения задач управления запасами.....	237
ТЕМА 2.6. ЗАДАЧИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ	
2.6.1. Общие понятия теории очередей.....	240
2.6.2. Одноканальные системы массового обслуживания.....	242
2.6.3. Многоканальные системы массового обслуживания.....	245
2.6.4. Прикладные аспекты теории массового обслуживания.....	248
2.6.5. Примеры задач массового обслуживания.....	250
ТЕМА 2.7. СОСТЯЗАТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ	
2.7.1. Основные понятия теории игр.....	253
2.7.2. Математическая модель игры.....	256
2.7.3. Игры с природой.....	260
2.7.4. Биматричные игры.....	270
2.7.5. Понятие коалиционных игр.....	280
2.7.6. Примеры состязательных задач.....	281
ТЕМА 2.8. ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ	
2.8.1. Область применения динамического программирования.....	285
2.8.2. Основные идеи динамического программирования.....	286
2.8.3. Распределение Q средств между N предприятиями.....	288
2.8.4. Динамическая задача управления запасами.....	290
2.8.5. Стохастическое динамическое программирование.....	294
2.8.6. Задачи износа и замены оборудования.....	297
2.8.7. Примеры задач динамического программирования.....	304
2.9. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ	
2.9.1. Понятие многокритериальности.....	309
2.9.2. Оптимальность по Парето.....	312
2.9.3. Метод идеальной точки.....	315
2.9.4. Принятие решений на основе метода анализа иерархий.....	316
2.9.5. Общая классификация эвристических методов решения многокритериальных задач.....	325
2.9.6. Примеры многокритериальных задач.....	327
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	333
СЛОВАРЬ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ.....	334
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	345
ПРИЛОЖЕНИЯ	
Приложение 1.....	349
Приложение 2.....	353

## ВВЕДЕНИЕ

Принятие решений напрямую связано с целенаправленной деятельностью человека. В личной жизни каждый из нас принимает решения о выборе профессии, устройстве семьи, проведении отдыха, распределении бюджета и т.п. Формирование и выбор этих решений, как правило, производится эмпирически – путем логического мышления и интуиции.

Другое дело, когда человек готовит и принимает разнообразные решения в рамках своей служебной деятельности. Эта деятельность характеризует, прежде всего, труд руководителя, который не только лично принимает решения, но и организует работу сотрудников по подготовке и реализации различных решений. Цена ошибок в принятии управленческих решений может быть очень высока. Отсюда становится ясно, что принятие решений руководителем не может осуществляться лишь эмпирически – в основу таких решений должны быть положены научные подходы и методы.

**Принятие управленческих решений** – это ключевая функция руководителя любого уровня. Однако в подготовке решения принимают участие сотрудники данной, а также смежных организаций, а также специалисты консультационных компаний. Свою управленческую деятельность каждый руководитель реализует через решения – именно они его основной «продукт». При вопросе «на бегу» даже у крупного руководителя, например, металлургического комбината о том, что является непосредственным продуктом его деятельности, может вырваться неправильный ответ: «Выпуск сортового металлопроката». Однако, это не правильный ответ.

Продукт деятельности руководителя любого уровня – принятие грамотных решений. Выпуском конкретной продукции заняты те или иные исполнители на определенных рабочих местах. Принятие решений – это главная задача для руководителя, решаемая в процессе управления. В связи с этим знание методов принятия решений – необходимый элемент профессиональной квалификации руководителя, а принятие эффективных решений руководителями любого ранга – важнейшее условие успешного развития организации и её выживания в конкурентной борьбе.

Область профессиональной деятельности специалистов-экономистов, по ФГОС ВО 38.05.01 «Экономическая безопасность» (уровень специалитета), утвержденном приказом №20 Минобрнауки Российской Федерации от 16.01.2017 г., включает: обеспечение экономической безопасности общества, государства и личности, субъектов экономической деятельности.

**Объектами профессиональной деятельности** специалистов являются: общественные отношения в сфере обеспечения законности и правопорядка, экономической безопасности; события и действия, создающие угрозы экономической безопасности; свойства и признаки материальных носителей розыскной и доказательственной информации; поведение хозяйствующих субъектов, их затраты, риски и результаты экономической деятель-

ности, функционирующие рынки, финансовые и информационные потоки, производственные процессы.

Пособие поддерживает изучение студентами – будущими специалистами по экономической безопасности дисциплины «Управление предприятием (организацией)» по важнейшим аспектам разработки и принятия управленческих решений. В процессе освоения данной дисциплины у студентов должен быть сформирован ансамбль компетенций в следующем составе:

**Общекультурных компетенций (ОК)** и конкретно:

**ОК-8** – способности принимать оптимальные организационно-управленческие решения, для чего студенты должны:

– знать: базовые понятия теории разработки и принятия управленческих решений, классификацию управленческих решений по характеру разработки и реализации, критериальный аппарат сферы принятия управленческих решений;

– уметь: самостоятельно обосновывать и разрабатывать управленческие решения, разрабатывать варианты решений коллегиально (в группе);

– владеть: основными методами принятия решений на основе: а) рациональности; б) суждений (по аналогии); в) интуиции;

**Профессиональных компетенций (ПК)** и конкретно:

**ПК-5** – способности осуществлять планово-отчетную работу организации, разработку проектных решений, разделов текущих и перспективных планов экономического развития организации, бизнес-планов, смет, учетно-отчетной документации, нормативов затрат и соответствующих предложений по реализации разработанных проектов, планов, программ, для чего студентам необходимо:

– знать: систему планов экономического развития организации, учетно-отчетной документации и нормативов затрат;

– уметь: составлять (разрабатывать) бизнес-планы и сметы;

– владеть: критериальным аппаратом и основными методами оценки качества планов и проектных решений;

**ПК-42** – способности планировать и организовывать служебную деятельность подчиненных, осуществлять контроль и учет ее результатов, для чего студенты должны:

– знать: систему управленческих функций в деятельности предприятия, систему организации и осуществления контроля деятельности работников организации;

– уметь: составлять планы и программы действий работников организации, определять масштаб допустимых отклонений от плановых величин;

– владеть: базовыми навыками планирования работ и осуществления различных видов контроля за деятельностью работников организации;

**ПК-43** – способности принимать оптимальные управленческие решения с учетом критериев социально-экономической эффективности, рисков

и возможностей использования имеющихся ресурсов, для чего студентам необходимо:

- знать: систему критериев социально-экономической эффективности управленческих решений;
- уметь: выявлять источники рисков, угроз и возможностей, анализировать ресурсное поле решений управленческих задач;
- владеть: методами поиска оптимальных управленческих решений.

Пособие структурно состоит из **двух разделов** – эвристического<sup>1</sup> и экономико-математического. Во-первых, это позволяет учесть современные наработки исторически сложившихся в теории управления (менеджменте) структуре научных школ: школы человеческих и поведенческих отношений и количественной (управленческой) школы. Во-вторых, это способствует лучшему, по нашему мнению, удовлетворения учебных потребностей различных категорий обучающихся, отличающихся разным типом мышления (лево- и правополушарным, смешанным и интегрированным), а также различным уровнем математической подготовки.

**Авторская концепция пособия.** Вся история человечества изобилует огромным числом примеров высокой «цены» ошибок управленцев разных уровней – от военной до мирной жизни. Ошибки совершали и продолжают совершать представители всех ветвей власти, науки и образования, сфер культурной и религиозно-духовной жизни, всей системы хозяйствования общества. Однако в связи с бурным развитием техники резко выросли угрозы и риски для всего живого на нашей планете. Это касается масштаба антропогенного воздействия на природу и на абсолютно все стороны жизни современных людей (войны и военные конфликты поменьше, рукотворные техногенные аварии и экологические катастрофы и проч.).

Все это происходит во многом из-за **недостаточности системного мышления** руководителей разных уровней, **неполноты учета жизненного цикла (ЖЦ) систем** различной природы. Аналогично поучительным примерам изложения инженерных курсов с позиций аварий и катастроф, происходящих из-за ошибок на разных фазах жизненного цикла инженерных систем (при проектировании, изготовлении, эксплуатации, ремонте или утилизации) изложение учебных материалов в нашем пособии начинается с рассмотрения роли ошибок в управленческой деятельности.

В большинстве пособий по тематике принятия управленческих решений есть принципиальное, на наш взгляд, упущение. В них сразу начинают обсуждаться проблемы принятия решений, их классификации и особенности без рассмотрения истории появления самих решений в процессе **решения задач**.

---

<sup>1</sup> В современном понимании эвристика – это теория и практика организации избирательного поиска при решении сложных интеллектуальных задач (Словарь практического психолога / Сост. С.Ю. Головин. – Минск: Харвест, 1998. – С. 601).

Из поля внимания обучающихся выпадает **феномен задачи** (задачной системы) как центрального элемента мыследеятельности человека, хотя согласно одному из первых словарей по психологии «мышление – это самый сложный вид интеллектуальной деятельности человека, выражающийся в приспособлении к новым условиям, в разрешении новых задач»<sup>1</sup>. Поэтому в данном пособии предпринята попытка компенсировать недостаточность существующей «общезадачной» (теоретической) подготовки студентов, так как в процессе освоения различных дисциплин они овладевают методами решения лишь специфических для этих дисциплин задач. Расширение теоретического и творческого кругозора обучающихся осуществляется при этом на базе современных наработок в сфере функционально-стоимостного анализа (ФСА) систем, теории решения изобретательских задач (**ТРИЗ**) и теории развития творческой личности (ТРТЛ).

С каждым годом все большее число авторов пособий по принятию управленческих решений обращают внимание на достижения в ТРИЗ. Ссылаются на них С.Г. Вербин<sup>2</sup>, психолог и специалист в области космической медицины, автор методик развития интеллекта с помощью активизации резервных возможностей головного мозга («Золотое сечение», Интелл-метод»). В учебном пособии И.Н. Дубины<sup>3</sup>, посвященном творческим аспектам разработки и принятия решений в управлении и бизнесе, также уделяется большое внимание ТРИЗ (см. главу 9 его пособия).

Более того, в профессиональном стандарте «Управление (руководство) организацией»<sup>4</sup> напрямую отмечено, что для принятия решений высшим руководством компаний, которое осуществляется в условиях **информационной неопределенности**, необходимо использовать инструменты ТРИЗ.

Отличием настоящего пособия является его направленность на «**человеческое измерение**» в управленческом деле. К сожалению, масса учебных пособий по управлению достаточно обезличенно описывают управление на предприятии (или в организации), а именно «вообще» – без его стратификации на низовое, среднее и высшее. Тем самым, на наш взгляд, совершается своеобразная демотивация обучающихся, ведь их после окончания вуза в недалеком будущем ждет встреча с особенностями именно низового (а вовсе не стратегического) управления на предприятии, о котором они должны иметь достаточное представление.

Широко известно, что **наличие юмора** у человека служит ярким показателем его интеллекта. Именно поэтому в пособии имеется Приложение

---

<sup>1</sup> Варшава Б.Е., Выготский Л.С. Психологический словарь. – М.: Учпедгиз, 1931. – 206 с.

<sup>2</sup> Вербин, С. Наука принятия решений / С. Вербин. – СПб.: Питер, 2002. – 160 с.

<sup>3</sup> Дубина, И.Н. Творческие решения в управлении и бизнесе / И.Н. Дубина. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2007. – 373 с.

<sup>4</sup> Профессиональный стандарт. Управление (руководство) организацией. – Национальный центр сертификации управляющих, 2010. – 100 с.

«Смешное (и не очень) в сфере принятия управленческих решений», где даны уместные афоризмы, анекдоты и смешные картинки. Они не только способствуют психологической разгрузке (отдыху и релаксации) обучающихся, но и служат целям активизации мышления студентов за счет усиления рефлексивного аспекта обучения<sup>1</sup>.

Снабжение всех разделов пособия системой вопросов для самопроверки, а во втором разделе – практическими примерами и задачами – способствуют рефлексии студентами изложенных материалов. Они же впоследствии могут служить основой для формирования контрольно-измерительных материалов (тестов) для рубежного и финишного контроля знаний и навыков обучающихся.

Пособие снабжено словарем основных терминов и сокращений (акронимов), эксплуатируемых в сфере разработки и принятия управленческих решений, библиографическим списком, охватывающим не только классическую литературу по данным вопросам, но также свежие публикации с результатами проводимых в стране и за рубежом научно-исследовательских работ, а также ряд диссертационных работ по тематике изучаемой дисциплины.

## **РАЗДЕЛ 1. ЭВРИСТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ И ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ОРГАНИЗАЦИЕЙ**

### **ТЕМА 1.1. ПОНЯТИЕ О СВЯЗИ ОШИБОК В ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ**

Есть масса пословиц, точно отражающих важность определения исходного состояния перед намерениями какой-либо деятельности, типа: «Не зная броду, не суйся в воду!». В сфере обеспечения экономической безопасности именно знанием о наличии такого «брода» представляется знание ключевых вызовов и угроз. Их неучет для организации очень опасен.

В теории систем хорошо известно, что «когда есть хоть какие-нибудь реальные различия в устойчивости разных элементов системы по отношению к внешним воздействиям, общая устойчивость системы определяется наименьшей её частичной устойчивостью (иначе говоря, устойчивостью её **слабейшего звена**)»<sup>2</sup> (известно: «Где тонко – там рвется»). Помимо того, что важно знать самые «слабые звенья» в системе экономической безопасности, не менее важно отчетливо представлять, на какое звено системы

---

<sup>1</sup> Лихолетов, В.В. Анекдот и карикатура в системе средств обучения технологиям творчества / В.В. Лихолетов // Интернет-журнал «Мир науки», 2017, Том 5, номер 5 <https://mir-nauki.com/12PDMN517.pdf>

<sup>2</sup> Тахтаджян, А.Л. Тектология: история и проблемы А.Л. Тахтаджян // Системные исследования. Ежегодник. – М.: Наука, 1971. – С.245.

следует воздействовать (в первую очередь и в какой последовательности, в каком режиме), чтобы улучшить работу всей системы.

В п. 13 «Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года» четко прописано, что **«вызовы и угрозы экономической безопасности должны в обязательном порядке учитываться при разработке документов стратегического планирования в сфере социально-экономического развития Российской Федерации».**

Однако совокупность вызовов экономической безопасности обширна, что сразу обуславливает трудности их структурирования. Отсюда вытекает проблема осмысления корректных подходов и методов анализа этого массива, а также выбора из них методов, дающих необходимую для целей планирования информацию. Важность системного анализа массива угроз экономической безопасности настойчиво звучит в последних монографиях<sup>1</sup>, где авторы обосновывают необходимость изучения экономической безопасности как сложной системы, функционирующей на принципах полного гомеостаза<sup>2</sup>.

М.И. Кротов и В.И. Мунтиян предлагают упорядочить терминологию по вопросам безопасности, в первую очередь, по вопросу определения её уровней. Логично полагая, что категория абсолютной безопасности – это антипод абсолютной опасности, они делят половину круга (180 градусов) на 4 зоны (по 45 градусов), а далее вводят представления о четырех уровнях опасности и цветах, соответствующих этим уровням (табл. 1.1.1).

Таблица 1.1.1

Обоснование зон опасности (по М.И. Кротову-В.И. Мунтияну)

№	Зона	Цвет	Комментарий
I	Вызова	Зеленый	Даже если вызов реализует потенциал по максимуму, то объект лишь на 45 градусов приблизится к опасности. Общую ситуацию это не изменит и ущерба экономике не будет из-за ограниченности потенциала вызова и того, что существующий инерционный потенциал системы обеспечения безопасности вернет его в исходное положение

<sup>1</sup> Кротов, М.И. Экономическая безопасность России: системный подход: монография /М.И. Кротов, В.И. Мунтиян. – СПб.: Изд-во НПК «РОСТ», 2016. – 336 с.

<sup>2</sup> Гомеостаз – способность открытой системы сохранять постоянство внутреннего состояния посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия (саморегуляция).

№	Зона	Цвет	Комментарий
II	Риска	Желтый	Максимум риска – 90 градусов (риск – на полпути от безопасности к опасности). Если негативные факторы выведут систему из равновесия, то риск может перейти в угрозу. В экономике это уже может привести к экономическому шоку (ценовому или валютному, что наблюдалось в России в 2014–2015 гг.)
III	Угрозы	Оранжевый	В отличие от риска угроза – на границе с опасностью. Угроза порождается резонансной неустойчивостью рынка, финансово-экономическими диспропорциями и негативами экономического развития. В отличие от вызова и риска угроза уже причиняет конкретный экономический ущерб экономике в материальной и нематериальной формах, ущемляет национальные, в т.ч. жизненно важные интересы
IV	Опасности	Красный	Если совпадают одновременно три уровня опасности (вызов, риск и угроза), то от этого резонанса экономическую систему поражает экономический кризис. Если на эти уровни наслаивается четвертый уровень (сама опасность), то от такого резонанса происходит катастрофа, коллапс – разрушается экономическая система, а затем и государство в целом

### 1.1.1. Обзор концепций возникновения человеческих ошибок

Известны слова великого поэта Индии Рабиндраната Тагора: «Перед ошибками захлопываем дверь, в смятенье истина: «Как я войду теперь?». Поучительным представляется нам обращение к высказываниям и других великих людей по поводу ошибок и работе над ними (табл. 1.1.2).

**Ошибка** – это непреднамеренное, случайное отклонение от правильных действий, поступков, мыслей, разница между ожидаемой или измеренной и реальной величиной. Она результат действия, совершенного не точно или неправильно, вопреки плану, но самое главное, что результат, который получен, не соответствует намеченному или заданному, требуемому. Что же такое ошибка? Случайность? Неудача? Промаш? Нарушение?

Таблица 1.1.2

#### Высказывания великих людей по поводу ошибок

Сущность изречения	Автор
Единственная настоящая ошибка – не исправлять своих былых ошибок	Конфуций
Боязнь совершить ошибку вовлекает в другую	Гораций
О великом человеке судят только по его главным деяниям, а не по его ошибкам	Вольтер
Умный человек не делает сам все ошибки – он дает шанс и другим	У. Черчилль
Эксперт – это человек, который совершил все возможные ошибки в некотором узком поле	Нильс Бор
Заблуждаться — это наилучший способ найти что-нибудь интересное	Пауло Коэльо

Теория деятельности требует постановки вопроса о том, что такое ошибочное действие. Ведь ошибка – это факт практики<sup>1</sup>.

Согласно автору знаменитой «Творческая эволюция», вышедшей ещё в 1907 г.<sup>2</sup>, человеческое действие свободно. Такое понимание вводит в рассмотрение сознание и творчество в трудовом процессе. Ясно, что понятие «ошибка» в таких делах приобретает особый смысл: оно фиксирует только несовпадение намеченного и достигнутого, но не проясняет сути.

Ошибка предполагает **выбор и ответственность**. Субъект, выполняющий профессиональную деятельность, должен предвидеть последствия и необходимость нести ответственность. Поэтому ошибка относится к области **морали**. Так как ошибка – это случай из практики, то концепция ошибки должна строиться на основе представлений о нормальном функционировании, которое определяется позитивно. Сама ошибка должна определяться только негативно. Разумеется, если речь идет о нежелательном происшествии, а не о положительных последствиях ошибки. Тогда название «ошибка» будет неточным. В определении понятия ошибки решающее значение имеет **время**: ошибочное действие уже совершено – оно всегда в прошлом. С ошибкой всегда имеют дело как со свершившимся фактом.

Ошибки есть во всех сферах человеческой деятельности. Для анализа ошибок измерений разработаны теория вероятностей и статистика. Философы с древних времён размышляли о безошибочном знании (истине) и причинах возникновения ошибочных суждений. Философы (материалисты и идеалисты) решали вопрос по-разному. Первые с большим доверием относились к данным, полученным опытным путём, вторые – к умозрительным размышлениям. Однако, среди тех и других были агностики, полагавшие, что познание в принципе недостоверно.

Общее толкование ошибки как нарушения каких-либо законов, правил, схем, норм, логики (например, «Ошибка – неправильность в действиях, поступках, высказываниях, мыслях, погрешность» в «Толковом словаре русского языка» под ред. Д.Н. Ушакова) позволяет рассматривать её как результат девиантной деятельности или поведения (от лат. *deviatio* отклонение, англ. *deviation*), т.е. понятия, более широко применяемого в социологических и психологических исследованиях<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Стрелков, Ю.К. Инженерная и профессиональная психология / Ю.К. Стрелков. – М.: Высшая школа: Academia, 2001. – 358 с.

<sup>2</sup> Бергсон, А. Творческая эволюция / А. Бергсон. – М.: Терра-Книжный клуб, 2001. – 384 с.

<sup>3</sup> Девиантное поведение. // Новая философская энциклопедия Института философии РАН. – URL:<http://iphras.ru/elib/3632.html> (дата обращения: 28.11.2016).

Есть логико-философские, психологические и лингвистические подходы к ошибке. Например, с точки зрения философии и логики ошибка связана, прежде всего, с неправильным ходом мыслей в рассуждении<sup>1</sup>.

Следуя аристотелевскому подходу, разграничившему два класса ошибок (ошибки «вне речи», т.е. ошибки в мышлении и «неправильности речи»), в логике выделяют две группы ошибок в зависимости от их причины:

1) ошибки неформальные (ошибки, причиной которых служит неправомерность в словесном выражении мысли);

2) формальные ошибки (ошибки логические в собственном смысле)<sup>1</sup>.

В психологии девиантные проявления рассматриваются, прежде всего, в поведении и деятельности индивида или социальной группы. Понятие ошибки связывается с «любой ситуацией, при которой некая цепочка ментальных или физических действий не достигает желанной цели, и эта неудача не может быть приписана случаю»<sup>2</sup>. Обычно психология анализирует речевые ошибки в контексте общего развития личности. Ведь они способны возникать на разных этапах реализации программы высказывания (как инструмент отражения механизма речепорождения, интерференции мыслей, скрытых за речевым намерением) и самого высказывания.

Девиация в речи не осталась без внимания лингвистов. Для них речевые ошибки – объекты осмысления теоретического и прикладного анализа, что позволило разграничить их, как возникающих: 1) при овладении родным языком; 2) при изучении иностранного языка; 3) при осуществлении профессиональной деятельности (например, переводческой, педагогической, исследовательской)<sup>3</sup>. Обще- и психолингвистическое понимание типов ошибок и их механизмов, составляет сегодня теоретическую основу **эратологии** (от лат. «errata» – «ошибки») – **теории ошибок**<sup>4</sup>.

Исследования в сфере изучения причин появления ошибок в человеческой деятельности проводили многие зарубежные и отечественные ученые.

Среди зарубежных исследователей следует, прежде всего, назвать разработки Г.У. Хайнриха, основоположника безопасности труда. Дипломированный инженер, он в зрелом возрасте он более 20 лет вел в Нью-Йоркском университете лекции по безопасности труда; был членом Американского общества инженеров по технике безопасности (American Society of Safety Engineers). Ещё работая руководителем помощника технического и инспекционного подразделений страховой компании Travelers

---

<sup>1</sup> Тетерлева, Е.В. Понятие ошибки в контексте различных научных дисциплин / Е.В. Тетерлева, Ю.К. Попова // Проблемы романо-германской филологии, педагогики и методики преподавания иностранных языков. – Пермь: ПГПУ, 2010. – С. 36–40.

<sup>2</sup> Reason James. Human Error. – Cambridge University Press, 1990. – 302 p.

<sup>3</sup> Новицкая, И.В. Теория ошибки в свете различных подходов / И.В. Новицкая, А.Е. Вакалова // Молодой ученый. – 2016. – №26. – С. 788–794.

<sup>4</sup> Марьянович, А.Т. Эратология или как избежать наиболее неприятных ошибок при подготовке диссертации / А.Т. Марьянович. – М.: Вузовская книга, 1999. – 164 с.

Insurance, Хайнрих написал книгу<sup>1</sup>, идеи которой были с восторгом восприняты работодателями США, в частности компанией Philip Morris.

На основе эмпирических исследований был даже сформулирован **закон Хайнриха** («пирамиды травматизма» или «пирамиды происшествий»). По нему, на каждый несчастный случай на рабочем месте, повлекший тяжелые последствия, приходится 29 случаев получения легких травм и 300 потенциально опасных происшествий (1: 29: 300). Ещё в 1931 г. Хайнрихом была предложена «теория «домино»». По ней практически всегда человеческие ошибки образуют последовательности, в которых первая ошибка неминуемо вызывает вторую, вторая – третью и так далее. Вместе с тем Хайнрих утверждал, что важно исследовать не только ошибочные действия людей, но и совокупность тех условий, в которых эти действия совершаются. Эти условия ответственны за каждую пятую аварию (он предложил пользоваться «правилом 80:20», по которому 80% причин аварийных ситуаций связаны с опасными действиями персонала, а 20% – с опасными условиями производства). Теория «домино» сыграла большую роль в изучении причин и моделировании промышленных аварий.

Согласно теории «домино», в развитии нештатной ситуации выделяют пять стадий. Первая обусловлена наследственностью человека и социальной средой, где он находится, совершая действия, необходимые для данного производственного процесса. На второй стадии сказываются личные недостатки человека и характерные для него ошибки (типа плохой памяти или замедленной реакции). Третья стадия охватывает непосредственно опасные действия, которые может совершить человек. Четвертая стадия представляет саму аварию. Пятая стадия – связанный с аварией ущерб.

Перечисленные стадии уподобляются ряду костей домино, стоящих друг за другом. Удержав любую из первых четырех, можно предотвратить последствия аварии в виде ущерба или несчастных случаев (рис. 1.1.1).

Позднее данная теория была развита Э. Адамсом, Ф. Бёрдом и Р. Лофтасом. В работе, опубликованной в 1976 г., Адамс пересмотрел сущность первых трех стадий последовательности Хайнриха и показал, что наследственность индивидуума и его личные качества играют отнюдь не главную роль в совершении ошибок. По Адамсу, на этих стадиях основное значение имеют ошибки в организации. Эти ошибки по-разному сказываются на каждой из стадий: на первой стадии проявляются недостатки в структуре управления (эти ошибки совершаются в высших эшелонах управления, они – стратегические), на второй – ошибки в самом управлении, на третьей – тактические ошибки. Недостатки в структуре влекут за собой ошибки управления, которые связаны с такими факторами, как выбор целей и задач, организация производственного процесса, планирование и выполне-

---

<sup>1</sup> Heinrich H.W. Industrial accident prevention: a scientific approach. – McGraw-Hill Book Company, 1931. – 480 p.

ние отдельных операций. Ошибки управления ведут к ошибкам, которые Адамс называет тактическими, они представляют собой уже непосредственно опасные действия или создание условий, способствующих возникновению аварии. Заслуга Адамса в выявлении причинно-следственной связи между стратегическими и тактическими ошибками (между действиями менеджеров высшего звена и действиями исполнителей).

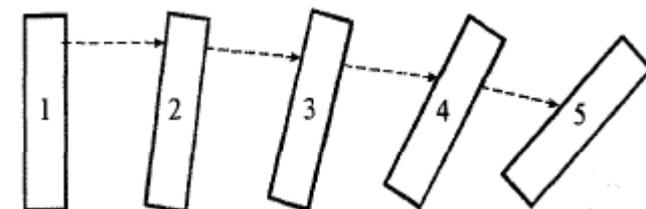


Рис. 1.1.1. Иллюстрация теории «домино»

Модель Бёрда и Лофтаса также базировалась на теории Хайнриха, но в ней основное внимание уделялось влиянию управления на процесс формирования причин промышленных аварий. Модель также включает пять стадий, но первые три из них рассматриваются под иным углом зрения. Первая стадия отражает недостатки в управлении, вторая связана с основными причинами аварии, а третья – с непосредственными причинами (табл. 1.1.3).

Таблица 1.1.3

Варианты теории «домино»

Теория	Звенья цепи				Авария	Ущерб, несчастные случаи
	Наследственность и социальная среда	Личные недостатки и ошибки	Опасные действия	Ошибки управления		
Хайнриха					Авария	Ущерб, несчастные случаи
Адамса	Структура управления	Ошибки управления	Тактические ошибки			
Бёрда и Лофтаса	Недостатки в управлении: несоответствие стандартам	Основные причины: низкая квалификация персонала, дефекты оборудования	Непосредственные причины: опасные действия людей или опасные условия работы			

В Советском Союзе в конце 60-х гг. О.Б. Шейниным на стыке геодезии и математики была защищена диссертация по истории теории ошибок<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Шейнин, О. Б. Некоторые вопросы истории теории ошибок: автореф. дис ... канд. физ-мат. наук / О.Б. Шейнин. – М.: Ин-т истории естествознания и техники АН СССР, 1967. – 11 с.

Позже результаты его расширенных исследований в данном направлении были опубликованы в Германии<sup>1</sup>.

В лоне психологии бывшим заведующим кафедрой инженерной психологии МГУ профессором Ю.К. Стрелковым в советское время изучались познавательные процессы (оперативного восприятия, памяти, мышления), их моделирование с помощью ЭВМ, велись исследования профессионального опыта и особенностей функционирования людей в сложных, экстремальных видах труда. Изучалось содержание деятельности летчиков, бортпроводников и штурманов гражданской авиации, профессиональные задачи и действия по их выполнению. В 1972 г. Стрелковым была защищена кандидатская диссертация на тему «Микроструктурный анализ преобразований информации человеком», а в 1992 г. – докторская на тему «Психологическое содержание штурманского труда в авиации».

Несмотря на успех теории «домино» у неё был существенный недостаток, Эта теория не могла помочь определить, как и при каких обстоятельствах отдельные элементы могут взаимодействовать друг с другом, вызывая затем аварию. При расследования аварий и несчастных случаев часто стремились найти виновников – людей, действия которых расценивались как опасные или как ведущие к созданию нештатных ситуаций.

Вопросы о том, как и почему были совершены такие действия, игнорировались. Сложившаяся тенденция была преодолена профессором психологии Манчестерского университета Джеймсом Т. Ризоном, работа которого в значительной степени основывалась на выявлении причин катастрофы 1986 г. в Чернобыле. В книге «Человеческие ошибки»<sup>2</sup> Ризон использует аналогию с физиологической концепцией иммунной системы человека. По его модели, **все организационные системы несут в себе «зародыши собственной кончины»** в виде неких аналогов патогенов, нарушающих нормальные функции систем. Такие организационные «патогены» порождают латентные ошибки (скрытые сбои в функционировании системы). Они могут накапливаться и взаимодействовать друг с другом, приводя к появлению качественно новых ошибок – явных сбоев (активных ошибок) в работе системы. Позднее Ризон усовершенствовал модель, её окончательный вид представлен на рис. 1.1.2. Она предполагает наличие двух путей распространения «патогенов», по одному из них идут системные, а по другому – человеческие «патогены».

---

<sup>1</sup> Шейнин, О.Б. История теории ошибок / О.Б. Шейнин. – Берлин: NG Verl., 2007. – 176 с.

<sup>2</sup> Reason James. Human Error / James Reason. – Cambridge University Press, 1990. – 302 p.

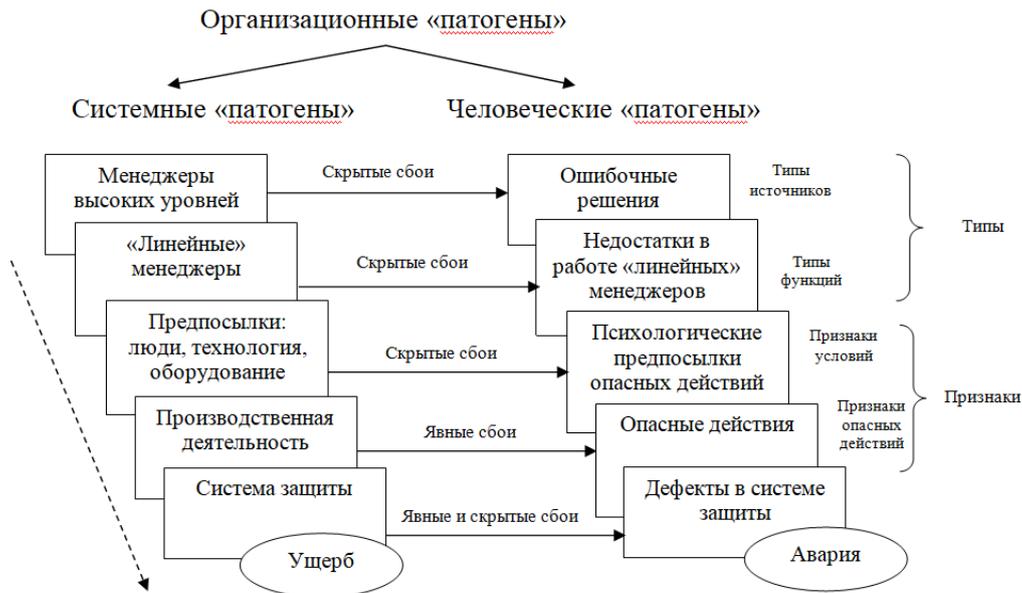


Рис. 1.1.2. Модель организационных «патогенов» Дж. Ризона

На линии системных патогенов есть пять важных компонентов: 1) принятие решений на высших уровнях; 2) управление действиями на рабочих местах (работа «линейных» менеджеров); 3) предпосылки нештатных ситуаций в виде поведения людей, технологий и оборудования; 4) производственная деятельность, требующая синхронизации поступков персонала, работы оборудования и снабжения материалами; 5) система защитных мер для сведения к минимуму реализации потенциально опасных событий.

Аналогично теории «домино» Ризон полагает, что наиболее важные «патогены» возникают на высших уровнях руководства. Ведь именно там принимаются решения стратегического характера: определяются цели сложной системы и распределяются ресурсы (деньги, оборудование, рабочая сила, время). Стратегические решения призваны обеспечить максимум продукции и одновременно – наибольшую безопасность системы в целом.

Известно, что эти цели, как правило, противоречат друг другу, найти компромисс удастся не всегда, что и ведет к появлению ошибок. Затем они распространяются по линиям управления и достигают низших уровней, где недоработки в стратегии вызывают тактические ошибки.

Ошибки на низших уровнях – это «спусковой крючок», активизирующий проявление скрытых ошибок. Второй компонент связан с действиями линейных менеджеров. Каждый из них отвечает за ограниченный круг функций и соответственно решает собственные задачи. Именно здесь ошибки, заложенные в стратегических решениях, очень часто превращаются в тактические ошибки. Третий компонент – промежуточный между линейным управлением и производственной деятельностью. Взаимодействии линейных менеджеров с производством характеризуется совокупно-

стью качеств, присущих оборудованию, технологическим процессам и людям. У оборудования это – соответствие техническим требованиям и параметры надежности, у технологических процессов – эффективность и безопасность, у людей – квалификация, заинтересованность в работе и отношение к ней, режим работы, соблюдение правил безопасности и т.д.

Все это Ризон называет предпосылками. Четвертый компонент обозначает сложную производственную деятельность людей и машин. Важнейшая функция здесь – синхронизация человеческих и машинных действий, по выдаче готовой продукции в запланированное время, тогда как пятый компонент – система мер защиты людей и оборудования от тех опасностей и риска, с которыми сопряжен процесс производства. Здесь важно предусмотреть возможные варианты развития нештатных ситуаций, угрожающих здоровью людей или целостности оборудования.

Путь человеческих «патогенов» параллелен пути системных «патогенов». Здесь также пять компонентов, причем компоненты двух линий попарно связаны. Связи между парами обнаруживаются в виде причин появления человеческих ошибок из-за наличия системных ошибок. При этом латентные ошибки (скрытые сбои) характерны для первых трех компонентов путей системных и человеческих «патогенов», четвертый из них (производственная деятельность) сопровождается только активными ошибками (явными сбоями), а пятый компонент (система защитных мер) может давать как скрытые, так и явные сбои.

Ризон разделяет человеческие ошибки на **типы**, характеризующие организационные недостатки сложной системы (конкретного предприятия) и **признаки** – недостатки непосредственных исполнителей.

Есть **тип источников и тип функций**. Первый связан со стратегическими решениями на высших уровнях управления, второй – с действиями «линейных» менеджеров. Признаки, связанные с психологическими предпосылками опасных действий (мотивация, отношение к работе, внимание), называются **признаками условий**.

Признаки, вызываемые производственной деятельностью, называют **признаками опасных действий** (здесь особое место принадлежит взаимодействию человека с машиной или компьютером).

Таким образом, ученым дана классификация опасных действий людей, могущих привести к аварии (или чрезвычайной ситуации), выделены три главных типа человеческих ошибок – это **промахи (просчеты), упущения и заблуждения** (табл. 1.1.4), а также особый тип ошибок, называемых им **нарушениями** (табл. 1.1.5).

Представление о наличии у действия **намерения** позволило Ризону описать алгоритм установления преднамеренности поведения (рис. 1.1.3).

Ризон также пришел к заключению, что «ошибка» как термин применима лишь к преднамеренным действиям. Наличие волевой составляющей критично в юридическом понимании вины. Все остальные действия могут

быть квалифицированы как просчет, упущение или промах. Чтобы быть ошибкой, действие должно характеризоваться одной из черт: события пошли не по плану, или запланированное не обеспечило нужного результата.

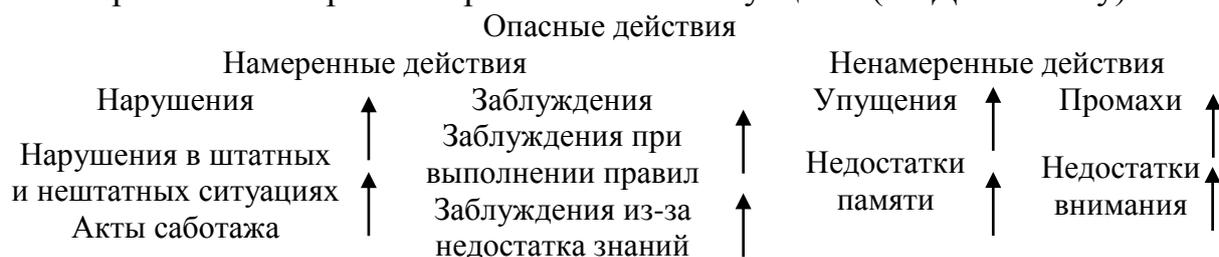
Таблица 1.1.4

Основная терминология (по Дж. Ризону)

Термин	Пояснение
Ошибки	Общий термин для описания всех случаев, когда запланированная серия умственных или физических действий не дает ожидаемого результата
Просчеты (промахи)	Небрежности (на стадии планирования) в ходе экспертной и логической оценки при постановке цели или определении средств её достижения независимо от точности выполнения или невыполнения действий, определенных генеральным планом работ
Оплошности и упущения	Ошибки при физическом выполнении или неправильном исполнении последовательности действий независимо от адекватности и полноты плана, который определял действия, необходимые для достижения цели

Таблица 1.1.5

Классификация причин опасных действий персонала, способных привести к авариям и чрезвычайным ситуациям (по Дж. Ризону)



Не случайно труды Джеймса Ризона легли в основу современных подходов к пониманию истинных причин небезопасного поведения, а также достаточно известной в риск-менеджменте **теории швейцарского сыра** (Swiss Cheese model).

В 1980-е гг. ушедшего века профессором Датского технического университета Й. Расмуссеном была предложена классификация ошибок по уровням производственной подготовленности<sup>1</sup>. По ней типы ошибок связаны с их происхождением. Ошибки того или иного типа возникают на определенной стадии.

<sup>1</sup> Jens Rasmussen. Information processing and human-machine interaction: an approach to cognitive engineering. – Elsevier Science Ltd, 1986. – 215 p.

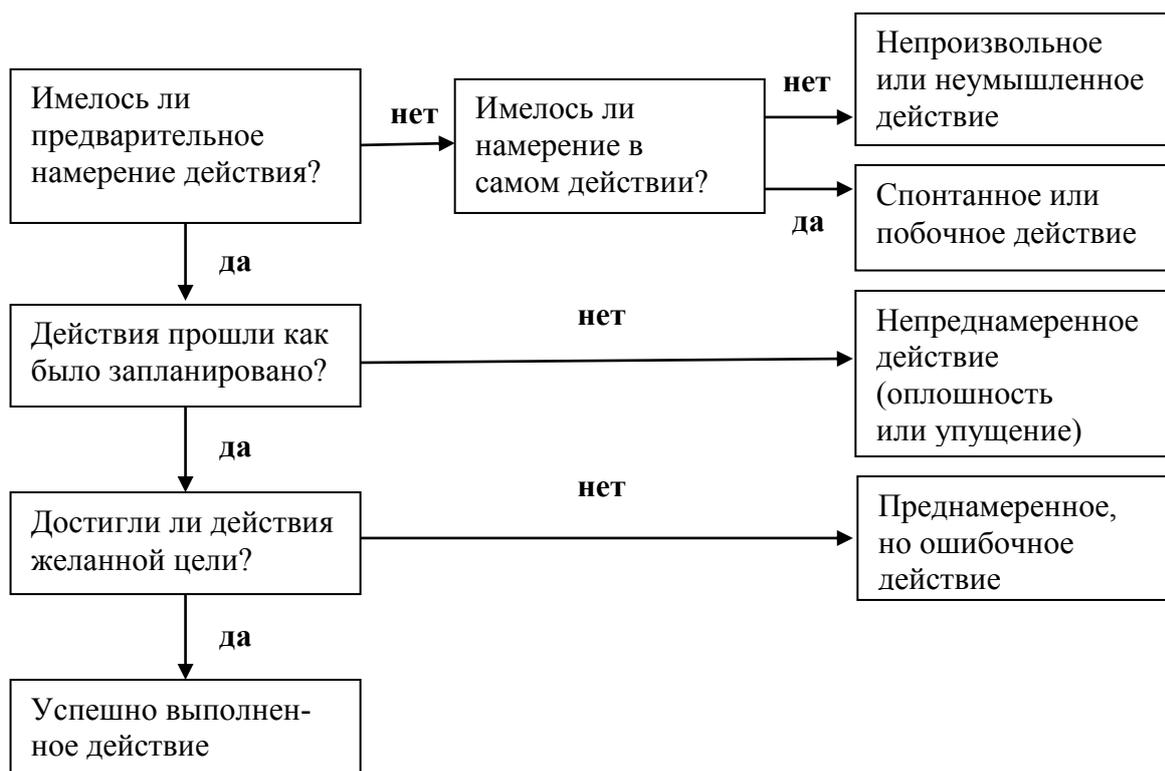


Рис. 1.1.3. Алгоритм установления преднамеренности поведения и действий (по Дж. Ризону)

Таких стадий (их называют **когнитивными**) – три. Они следуют одна за другой от начала мыслительных усилий по идентификации цели действия и вплоть до завершения намеченного действия. Их называют соответственно стадиями планирования, хранения и исполнения (табл. 1.1.6).

Таблица 1.1.6

Распределение человеческих ошибок по когнитивным стадиям (по Й. Расмуссену)

Когнитивная стадия	Тип ошибок
Планирование	Заблуждения (mistakes)
Хранение плана	Упущения (lapses)
Исполнение	Промахи (slips)

Расмуссеном выделены уровни, на которых формируются человеческие ошибки. Первый из них основан на умении (навыках), второй – на применении правил (инструкций) и третий – на знании (табл. 1.1.7).

Режим работы **на базе навыков** представляет собой вид поведения, которое не требует (или требует небольшого) сознательного контроля в процессе выполнения действий посредством осознанно сформированного намерения и представления о результатах этих действий. Работа в таком режиме известна также как психомоторная деятельность. Она производится в режиме «автомата», основанном на устойчивых психомоторных навыках решения последовательных рабочих задач, избавляющих психику че-

ловека от необходимости в постоянном контроле (пример: вождение автомобиля опытным водителем). Ошибки в этом режиме работы, как правило, имеют отношение к неизбежным недостаткам природных характеристик человека – таких как эмоции (спешка, задумчивость, усталость), или чувство ответственности (плотный график работы, работа на неисправном оборудовании для выполнения плана), или самоуверенность (не рассчитал силы).

Таблица 1.1.7

Уровни возникновения человеческих ошибок (по Й. Расмуссену)

Уровень	Описание	Пример
Умений, навыков (Skill)	Ошибки этого уровня вызываются спонтанной изменчивостью взаимодействия аналоговых структур, которая проявляется как в меняющейся интенсивности взаимодействия, так и в виде нарушения пространственной или временной координации	Вбивая в стену гвоздь, человек не рассчитал силу и направление удара молотком, в итоге гвоздь погнулся. Это – отсутствие навыка, интенсивность взаимодействия элементов системы «стена-гвоздь-молоток» оказалась высокой
Применения правил (Rule)	Знакомые проблемы, решение которых управляется набором инструкций. К типовым правилам относятся инструкции типа «если (дается характеристика состояния), то (формулируется диагноз)» или «если (дается характеристика состояния), то (определяется действие по устранению дефекта)». Ошибки этого уровня связаны с неправильной идентификацией ситуации, что ведет к применению не того правила, которое нужно на самом деле. Не только: незнание правил, игнорирование правил под видом целесообразности и т.д.	Работая на компьютере и желая записать на носитель набранный на жестком диске текст, человек по ошибке выбрал команду «сохранить» вместо «сохранить как...». В итоге запланированное задание оказалось невыполненным
Знаний (Knowledge Framework)	Новые для человека ситуации, не имевшие места в прошлом. Действия в подобных случаях планируются «с ходу» (on-line), при этом протекают осознанные процессы анализа и используется имеющийся запас знаний. Ошибки, совершаемые на этом уровне, связаны, во-первых, с ограниченностью этого запаса и, во-вторых, с неполными или некорректными знаниями	Пример: неправильное выключения компьютера начинающим пользователем. До отключения компьютера от электросети нужно выполнить несколько предварительных операций. Не зная этого, человек совершает ошибку на уровне, зависящем от знания

Режим работы **на базе правил** характеризуется подчиненностью установленным процедурам, которые являются частью рабочего опыта оператора. Они извлекаются из памяти для выбора действий в знакомой рабочей ситуации. Эти правила – изученные технические правила выполнения работ; набор инструкций, исходящих от руководителя работ; нормы, разрабо-

таные оператором в собственном опыте. Ошибки этого режима, как правило, сводятся к неправильной классификации и оценке рабочей ситуации. Результатом таких ошибок часто становится применение неверно подобранного правила, неадекватной или ложной процедуры.

Режим работы **на базе знаний** – это режим мышления и умозаключений, который включается при решении новых, незнакомых рабочих задач и при необходимости – при планировании и принятии решений в режиме реального времени посредством использования имеющегося в памяти знания и осознанных процедур анализа. Ошибки этого уровня происходят из-за неполноты знаний и ограниченности ресурсов. Такие ситуации хорошо объясняет **теория ограниченной рациональности** Нобелевского лауреата 1978 г. по экономике Герберта Саймона<sup>1</sup>.

Таким образом, у рассмотренного нами ансамбля теорий человеческих ошибок есть свои сильные и слабые стороны. Основные положения этих концепций представлены на рис. 1.1.4.

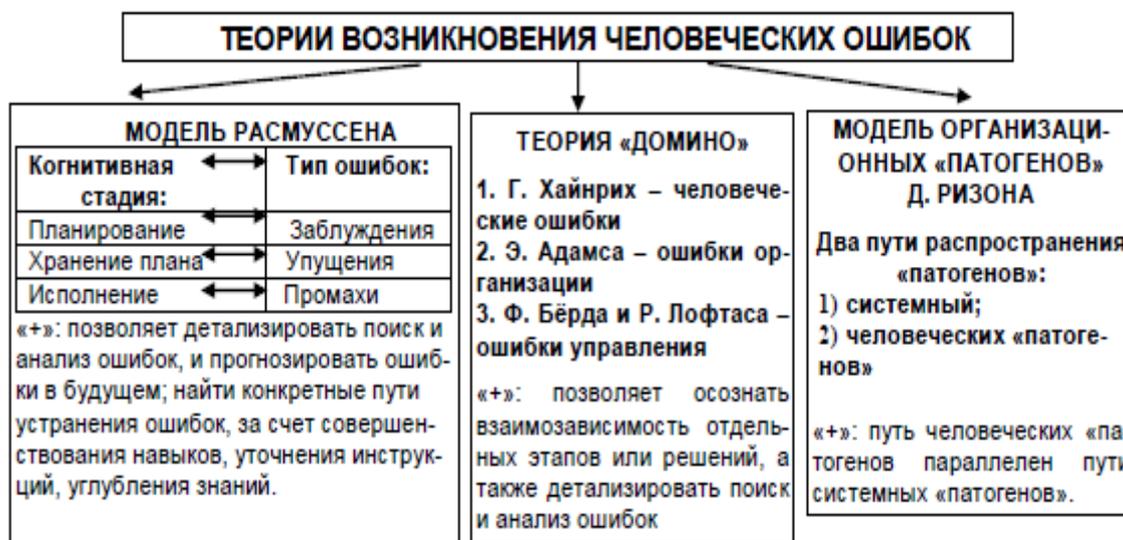


Рис. 1.1.4. Теории возникновения человеческих ошибок

Очевидно, что множественные человеческие ошибки порождают риски предприятий (организаций), которые следует рассматривать целостно на разных уровнях социальной общности. Макроструктура факторов риска включает в себя экологический, международный, государственный, организационный, групповой и индивидуальный уровни. К выделенным типам социальной общности относятся: мировое сообщество, государство, организация, малая группа и конкретный человек. Отсюда следует, что и уровни возникновения рисков аналогичные: международный, государственный, организационный, групповой и индивидуальный.

<sup>1</sup> Herbert A. Simon. Rationality as Process and as Product of Thought. Richard T.Ely Lecture // American Economic Review, May 1978, v.68, no.2, p.1–16.

В рамках настоящего пособия нам имеет смысл остановиться конкретно лишь на организационном, групповом и индивидуальном уровнях возникновения рисков.

В последние годы в России руководители многих предприятий, думающих о их развитии, активно осваивают **«бережливое производство»** (по англ. lean production, lean manufacturing – «стройное производство») – концепция управления производственным предприятием, основанная на постоянном стремлении к устранению всех видов потерь<sup>1</sup>. В рамках концепции «бережливого производства» функционируют методы предотвращения ошибок<sup>2</sup>. На японском языке они звучат как «пока-ёкэ» («защита от ошибок») и «бака-ёкэ» – буквально, «защита от дурака»).

Человек, как известно, представляет собой сложную биосоциальную систему. Поэтому и микроструктура факторов риска отражает четыре уровня в строении этой системы: индивидуальный, личностный, профессиональный и морально-этический (табл. 1.1.8).

Таблица 1.1.8

Микроструктура факторов риска

Уровень	Описание	Факторы риска
Индивидуальный	Человек, как биологическое существо	Возраст, здоровье, психофизиологические особенности
Личностный	Человек, как субъект социальных отношений	Межличностные конфликты, неприятие социальных ролей, демотивированность, акцентуации характера
Профессиональный	Человек, как субъект деятельности	Компетенции, квалификация
Морально-этический	Человек, как носитель ценностей и норм	Верования, убеждения, ценности, интернализация норм

### 1.1.2. Источники и характер появления управленческих ошибок

Руководитель любой компании – один из её ценных ресурсов. В случае неопытности или неграмотности руководителя компании весьма трудно достичь успеха. Если ошибки рядового сотрудника можно исправить или чем-то компенсировать, то ошибки руководителя могут стать роковыми

<sup>1</sup> Бережливое производство предполагает вовлечение в процесс оптимизации бизнеса каждого сотрудника и максимальную ориентацию на потребителя. Возникла как интерпретация идей производственной системы компании «Toyota» американскими исследователями её феномена.

<sup>2</sup> Вумек Джеймс П., Джонс Даниел Т. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. – М.: «Альпина Паблишер», 2013. – 470 с.

для организации. Ситуация осложняется ещё больше тогда, когда речь идет не о случайных ошибках, а о сложившемся управленческом подходе<sup>1</sup>.

Многие из управленческих ошибок повторяются у различных руководителей, а потому являются типичными. А.И. Пригожин предложил классифицировать их следующим образом (табл. 1.1.9).

Таблица 1.1.9

Типичные управленческие ошибки руководителей<sup>2</sup>

№	Вид	Конкретизация ошибок
1	2	3
1	Естественные (неизбежные)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– в прогнозах тенденций на рынке, возможных действиях конкурентов, в спросе и т.д.;</li> <li>– в оценках ситуации в организации, качества продукции, способностей работников и т.п.;</li> <li>– непредвиденные, хотя в принципе предвидимые события, последствия собственных действий и т.д.</li> </ul>
2	Предубеждения	<ul style="list-style-type: none"> <li>– неприятие перехода от модели управления «приказ-исполнение» к модели управления «согласование интересов»;</li> <li>– неприязнь к поведенческим технологиям, например, к использованию правил, методик для проведения коммерческих переговоров, командной работы, разрешения конфликтов и т.п.;</li> <li>– «ерунда все, что нельзя посчитать» – предубеждение против качественных методов стимулирования, оценки работников и т.д.;</li> <li>– отношение к работе над стратегией как к занятию абсолютно непрактичному;</li> <li>– заниженная оценка реального потенциала сотрудников;</li> <li>– боязнь делегировать ответственность своим подчиненным</li> </ul>
3	Незнания	<ul style="list-style-type: none"> <li>– закономерностей смены стадий развития организаций;</li> <li>– методов формулирования должностных функций;</li> <li>– современных мотивационных систем;</li> <li>– методов анализа ситуаций;</li> <li>– управленческих технологий</li> </ul>
4	Неумения	<ul style="list-style-type: none"> <li>– формулировать цели своей фирмы;</li> <li>– доводить цели фирмы до целей подразделений и работников;</li> <li>– просчитывать свои решения на реализуемость;</li> <li>– планировать многовариантно;</li> <li>– обеспечивать фактическое выполнение решений;</li> <li>– использовать индивидуальные особенности работников</li> </ul>
5	Вредные привычки	<ul style="list-style-type: none"> <li>– к самоцентризму (стягиванию всех проблем организации на себя);</li> <li>– демотивирующий стиль руководства, т.е. упор на подчеркивание упущений работников, а не на оценку их достижений;</li> <li>– «информационная алчность» - стремление знать и контролировать в организации все;</li> </ul>

<sup>1</sup> Василишина, Т. 10 главных ошибок управленцев / Т. Василишина // HRMagazine. – 2013. – №1. – [http://www.hrm.ua/article/glavnih\\_oshibok\\_upravlencev](http://www.hrm.ua/article/glavnih_oshibok_upravlencev) (21.02.2013).

<sup>2</sup> Пригожин, А.И. Управленческие идеи. Вы какое положение на рынке хотите занять? Как для этого должна измениться Ваша организация? / А.И. Пригожин. – М.: Ленанд, 2015. – 480 с.

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– дублирование порядка, когда руководители выдают задания, повторяющие должностные инструкции, положения об отделах и т.д.;</li> <li>– склонность давать задания, устраивать разборательства «через голову» подчиненных руководителей;</li> <li>– перегрузка лучших работников по принципу «грузить на того, кто везет»;</li> <li>– привычка назначать нереальные («мобилизационные») сроки выполнения заданий;</li> <li>– поспешность в выдаче заданий, отчего у подчиненных возникает установка: «не торопись выполнять – скоро отменят»;</li> <li>– необязательность на слово, пренебрежение своими обязательствами и обещаниями, что разрушает репутацию руководителя – его ценнейший капитал;</li> <li>– склонность поддаваться манипулированию со стороны подчиненных;</li> <li>– эмоциональное подавление подчиненных: силой голоса, грубостью, нетерпимым тоном, что ведет к большим управленческим потерям (снижение инициативы сотрудников, имитация их согласия, сокрытие информации и собственных мнений)</li> </ul>
6	Управленческие иллюзии	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вера в непогрешимость своих решений, убежденность в том, что главные причины сбоев в управлении – низкая исполнительная дисциплина, внешние обстоятельства, а не собственные просчеты;</li> <li>– культ материального стимулирования, сведение всей мотивации к доплатам, премиям, бонусам, нежелание «включать» более сложную мотивацию персонала;</li> <li>– склонность видеть причины своих трудностей прежде всего вовне, а не внутри организации;</li> <li>– преувеличение фактора лояльности ближних сотрудников при их подборе и оценке и т.д.;</li> <li>– склонность рассматривать достигнутое благополучие как постоянное, самоуспокоение, игнорирование возможных угроз</li> </ul>

Управленческий подход можно рассматривать как некую личностную установку руководителя, которую он берет за основу в коммуникации с подчиненными и в организации своей работы. Индивидуальный подход к управлению влияет на многие факторы успешности организации. Не зря есть поговорка «Люди приходят в компанию, а уходят от руководителя».

Конечно, бывает, что сотрудники остаются. Однако при этом эффективность работы тоже остается (но только на нуле). Именно поэтому возникает вопрос о выборе такого метода руководства, чтобы и подчиненные были довольны, и компания развивалась?

Специалисты по управлению человеческими ресурсами выделяют перечень неэффективных подходов к управлению, которые часто встречаются в отечественном менеджменте (табл. 1.1.10). Проанализировав их, можно исправить ряд ошибок в управлении организацией.

Таблица 1.1.10

Смыслы неэффективных подходов к управлению компанией<sup>1</sup>

№	Смысл	Комментарий
1	2	3
1	«Я – лучший специалист»	Часто руководителями становятся лучшие специалисты. Большая часть руководителей разбираются в специфике деятельности бизнеса и относительно хорошо владеют инструментами управления. Но их уровень знаний о методах управления находится в пределах общей культуры, этого часто недостаточно для эффективного практического применения.
2	«Я – хороший»	Управление исходно носит конфронтационный характер по отношению к подчиненным, т.к. нарушает достигнутое ими состояние равновесия. Не все подчиненные испытывают удовольствие от новой работы или дополнительных требований. Они используют отговорки, жалобы на перегруженность, недостаточную оценку своего труда, ссылки на отсутствие нужных ресурсов. Если босс отступит, то вскоре может сильно пожалеть об этом. Управление всегда связано с негативными эмоциями, возникающими в процессе соприкосновения с сопротивлением подчиненных
3	«Лучше я сам»	Каждый руководитель сталкивается с тем, что порученная работа часто не выполняется или выполняется с нарушением заданных параметров. «Летят» сроки, искажается содержание, страдает качество. Закономерно возникает установка «Лучше я сам». Альтернативой данного неэффективного подхода в управлении может стать коучинговый подход
4	«Я это заслужил»	Ряд руководителей воспринимают должность как награду за их тяжелый труд. Такой руководитель с достоинством принимает приятные стороны своего положения, но «уходит» от выполнения тех обязанностей, могущих вызвать любой эмоциональный дискомфорт.
5	«Я забочусь о своих людях»	Руководитель пытается управлять лишь добрыми методами (высокий уровень зарплаты, абонементы в спорткомплексы, регулярные корпоративные праздники, свободный режим работы). Ситуация начинает напоминать некую процветающую компанию. Но интенсивность работы подчиненных если повышается вообще, то на короткое время. Выходом в ситуации – мягкое изменения курса политики компании.
6	«Я не понимаю, как они могли!»	В психологии проекцией называется свойство приписывать другим людям свои черты характера. Это обеспечивает иллюзорную легкость взаимодействия с окружающими. Нам проще представить, что контрагент – наше отражение в зеркале. Подход характерен для большинства людей и для руководителей в частности. Многие боссы подчеркивают дистанцию часто смотря поверх голов сотрудников. Поручая работу подчиненным, босс считает, что они отнесутся к заданию так же, как он сам. Н часто сотрудник тратит время не на выполнение задания, а на подбор причин, позволяющих не напрягаться. Узнав об этом руководитель испытывает шок, не в силах понять, как его подчиненный мог так поступить. Коучинг помогает руководителю изменить данный подход

<sup>1</sup> Василишина, Т. 10 главных ошибок управленцев / Т. Василишина // HRMagazine. – 2013. – №1. – [http://www.hrm.ua/article/glavnih\\_oshibok\\_upravlencev](http://www.hrm.ua/article/glavnih_oshibok_upravlencev) (21.02.2013).

1	2	3
7	«Я за формальные отношения»	Есть факт: подчиненные более наблюдательны по отношению к своим руководителям, чем руководители к подчиненным. Многие боссы целенаправленно подчеркивают дистанцию и в процессе рабочих контактов смотрят поверх голов своих сотрудников. Часть руководителей не обращает внимания на настроение подчиненных. Другие руководители боятся стать жертвой манипуляций и лишиться себя возможности принимать прагматичные решения. Все это ведет к бедности эмоциональных контактов. В итоге босс может сохранять управляемость, но на уровне жесткой исполнительности. При этом он начисто лишает себя того мощного ресурса – самомотивации подчиненных. Альтернатива этому подходу – управление на основе эмоционального интеллекта
8	«Я много ему плачу»	Оплата труда имеет непрерывную тенденцию к росту. Эта тенденция не вызывает восторга у руководителей. Они (подсознательно или сознательно) решают: раз мы платим такие деньги, то сотрудник обязан демонстрировать трудовой энтузиазм. Возникает иллюзия: управление осуществляется автоматически. Часто наступает разочарование: руководитель вдруг обнаруживает, что высокая оплата труда подчиненного ничего не гарантирует. Отчаявшись, руководитель вкалывает сам, что устраивает его подчиненных. Противостоит данному подходу правильно организованная система трудовых отношений и контроля
9	«Я работаю, значит управляю»	Если спросить у руководителя о затратах времени на управление, то постановка вопроса вызывает удивление. Есть логическая цепочка: «я нахожусь на работе – следовательно, я управляю». Но это рассуждение неверно. Профессиональное управление может быть только осознанным процессом. Увы, у ряда руководителей есть иллюзия: управление осуществляется как бы автоматически, сам факт их присутствия на работе должен давать желаемый результат. Решение проблемы – обучение руководителя, повышение его компетенций
10	«Я думаю, что все поняли»	Руководитель полагает, что мышление его подчиненных совпадает с его мыслями. На это влияет логика: мы работаем в одной компании – получаем одинаковую информацию – одинаково заинтересованы в результатах – мы одинаково мыслим. Но все люди разные и их мышление индивидуально. Руководитель, считающий ненужным объяснить подчиненным свои поручения, рискует столкнуться с непониманием, сопротивлением и неточностью выполнения задания. Все это сопровождается обидами, конфликтами, даже репрессиями. Грамотно выстроенная коммуникация и коучинг в управлении решают проблему

### 1.1.3. Понятие об организационных дисфункциях и патологиях управленческих решений

В социологии организаций понятие **дисфункции** было введено Р. Мертоном, который рассматривал его в контексте трактовки социальной функции «как агрегированной совокупности последствий повторяющегося социального действия», оцениваемых с точки зрения выживания системы.

С этой позиции любое социально воспроизводимое действие, вторгающееся в сложную многоэлементную систему, каковой, в частности, является организация, вызывает целый ряд последствий (прогнозируемых и непрогнозируемых), которые могут быть оценены как **функциональные** (способствующие выживанию системы), **нейтральные** (не влияющие на выживание системы и ее элементов) и **дисфункциональные** (имеющие негативные последствия для выживания подсистем).

Дисфункции в организации возникают как незапланированный (латентная функция), отрицательный, побочный и непредвиденный эффект от сознательно запланированных действий с заданным результатом (явная или манифестированная функция), который обычно сосуществует с нейтральным (нонфункция) и общим позитивным с точки зрения функционирования системы итогом.

Они – результат множественности, неоднозначности и непредсказуемости последствий любого из предпринимаемых руководителем действий, необходимых для функционирования организации, а также сложности строения и многофункциональности организаций<sup>1</sup>.

Существует **два понимания организационной патологии**: 1) как отклонение от нормы; 2) как дисфункция. Организационная дисфункция означает целенедостижение, когда в функционировании организации обнаруживаются устойчивые сбои по важным и трудноискоренимым вопросам.

Исследователи выделяют **две группы патологий**: 1) в строении организации (табл. 1.1.11); 2) в управленческих решениях (табл. 1.1.12).

Таблица 1.1.11

Патологии в строении организации

№	Патология	Сущность
1	2	3
1	Господство структуры над функцией	У ряда руководителей есть инстинкт: возникла проблема – надо создать организацию (подразделение) для её решения. Функция первична к структуре, определяет её, а не наоборот! Верный путь предупреждения данной патологии – избегание структурных решений. Везде, где только можно, вместо организаций нужно создавать механизмы – программы, мотивации, новые приоритеты. Структуры тем полезнее, чем меньше в них уровней, поэтому их надо строить «плоскими»
2	Бюрократия	Она присуща не только власти, но возникает и в горизонтальных отношениях. Источник – эксплуатация «личного усмотрения». Лучший способ сопротивления ей – прозрачность деятельности, унификация учета и его доступность для обзора. Сильное средство – обозначение порока публично или в узком кругу, т.е. предъявление работнику понимания средой типа его поведения как именно

<sup>1</sup> Пригожин А.И. Методы развития организаций / А.И. Пригожин. – М.: МЦФЭР, 2003. – 863 с.

		такой формы патологии. Однако более надежный путь – формирование корпоративной культуры
--	--	---

Окончание табл. 1.1.11

1	2	3
3	Бессубъектность	Случай, когда от работника ничего не зависит, он не принимает решений и не реализует их. Поэтому он – не субъект в компании
4	Стагнация	Неспособность к изменениям, уклонение от назревших нововведений, неумение их осуществлять – в отличие от риска активного, сопровождающего радикальные обновления
5	Неуправляемость	Имеется в виду потеря контроля управляющей подсистемы организации над её управляемой подсистемой
6	Конфликт	Это далеко не всегда патология, но становится патологическим тогда, когда насыщается личностным содержанием, когда в него вовлекаются индивидуальные, групповые амбиции, предубеждения
7	Клика	Обозначает группу руководящих (влиятельных) работников организации, использующих её ресурсы в корыстных целях, нанося ей немалый урон

Таблица 1.1.12

### Патологии управленческих решений

№	Патология	Сущность
1	Маятниковые решения	Разделить-объединить, централизовать-децентрализовать. Повторение подобных колебаний и составляет этот вид патологии
2	Дублирование организационного порядка	Это когда работнику приказывают делать то, что он и без того обязан делать согласно положению о его службе или должностной инструкции
3	Игнорирование организационного порядка	Постоянное нарушение введенных норм, принятия решений вопреки им. Распространенный вариант – задания «через голову» нижестоящих руководителей. Нередко от первого руководителя такие воздействия идут даже через 2–3 головы
4	Разрыв между решением и исполнением	Осуществимость решений – важнейший показатель управляемости организации. В наших условиях он обычно колеблется около 60%. Среди причин невыполнения решений одинаковые или вполне сопоставимые объемы приходятся на низкую исполнительскую дисциплину и на пороки в самих решениях. Однако 90% руководителей на вопрос о подобных причинах едва ли не все относят именно на «исполнительскую дисциплину»
5	Демотивирующий стиль руководства	Преобладание указаний на упущение сотрудников над оценками их достижений. Сами руководители редко считают это патологией и вообще сколько-нибудь значимой проблемой
6	Инверсия	Означает состояние, когда результат управленческого воздействия оказывается противоположным его цели. Кстати, демотивирующий стиль руководства приводит именно к такой патологии, демотивированные сотрудники осложняют достижение целей

### Вопросы для самопроверки

1. Что такое ошибка и почему она предполагает выбор и ответственность?

2. Что изучает эрратология?
3. Как трактуется закон Г. Хайнриха?
4. Сколько стадий развития нештатной ситуации имеется в известной теории «домино» Г. Хайнриха?
5. В чем состоит сущность развития теории «домино» Э. Адамсом, Ф. Бёрдом и Р. Лофласом?
6. Назовите имена отечественных ученых, работавших в сфере теории ошибок?
7. В чем состоит сущность модели организационных патогенов Джеймса Ризона?
8. Как Дж. Ризон определяет просчеты (промахи), оплошности (упущения) и заблуждения?
9. Как распределяются человеческие ошибки по когнитивным стадиям у Йенса Расмуссена?
10. Поясните, какие уровни возникновения ошибок выделил Й. Расмуссен?
11. Как называются методы «защиты от дурака» в системе «бережливое производство»?
12. Назовите уровни микроструктуры факторов риска.
13. Дайте понятие организационной дисфункции.
14. Назовите патологии в строении организации и патологии управленческих решений.

## **ТЕМА 1.2. ПРОБЛЕМЫ ВОСПРИЯТИЯ И ПОНИМАНИЯ ЧЕЛОВЕКОМ ДИНАМИЧНОГО ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА**

### **1.2.1. Психологические проблемы внимания человека, понятие о стереотипах мышления и механизме их возникновения**

Люди всегда видят лишь то, что хотят видеть; слышат лишь то, что хотят слышать; верят лишь в то, во что хотят верить и отказываются верить в то, что им не нравится. Даже есть афоризм: «Мы живем в бесцветном мире, который раскрашиваем сами». В основе всего этого лежит достоверный факт об **избирательности** нашего внимания, подмеченный ещё в конце XIX века американским психологом и философом Уильямом Джеймсом. Он называл это «релевантностью<sup>1</sup> внутреннего содержания и наблюдаемых внешних феноменов»). Таким образом, посыл избирательного отражения исходит изнутри вовне – от блока ценностей и норм человека (см. жирную стрелку, направленную от решателя на рис. 3). При этом стерео-

---

<sup>1</sup> Релевантность (от лат. relevo – поднимать, облегчать) в поиске информации – соответствие (адекватность) поискового запроса и поискового образа документа. В широком смысле – мера соответствия получаемого результата желаемому результату.

типы и психологическая инерция играют огромную роль в процессах восприятия (перцепции<sup>1</sup>) окружающего мира, осознания проблем, решения задач и принятия решений. Выделяются четыре операции или четыре уровня восприятия: 1) обнаружение; 2) различение; 3) идентификация; 4) опознание. Первые два относятся к перцептивным, последние – к опознавательным действиям. Поэтому важно разобраться в этом вопросе и дать определение этим феноменам.

Среди обсуждаемых феноменов очень важным является также **внимание**. Создатель **теории «ограниченной рациональности»** Нобелевский лауреат 1978 г. по экономике Герберт Саймон отмечает, что в мире, где информации относительно мало и проблемы, которые необходимо решать, немногочисленны и просты, информация – несомненное благо. Однако в мире, где главным ограниченным ресурсом является внимание, информация может быть дорогостоящим предметом роскоши, ведь **она способна переключать наше внимание с важного на несущественное**<sup>2</sup>.

Именно поэтому, Саймон завершая свою мысль, пишет, что «...изучение рациональности процедур в условиях, когда внимание ограничено, проблемы исключительно сложны, а необходимая информация отсутствует, ставит перед каждым, кто интересуется рациональным размещением ограниченных ресурсов, множество нерешенных и принципиально важных исследовательских проблем»<sup>3</sup>.

Термин **«стереотип»** переводится с греческого как «твёрдый» + «отпечаток» и означает заранее сформированную человеком мыслительную оценку чего-либо, которая может отражаться в соответствующем стереотипном поведении. Это относительно устойчивые представления, которые возникают как истинные. Человек руководствуется ими, не задумываясь. Они избавляют его от необходимости всякий раз анализировать ситуацию и подсказывают «очевидное и верное» решение. Однако со временем стереотипы становятся сверхобобщенными и перестают реагировать на новую информацию, превращаясь в свою противоположность, в итоге не помогая принимать правильное решение, а как будто даже отталкивают от него.

Можно определить стереотип как относительно устойчивое психофизиологический комплекс человека, который проявляется в достаточно сходных реакциях на сходные раздражители. Стереотипы относятся к миру мыслей, чувств, т.е. к сфере идеального. Их влияние на реальность и на поступки людей огромно. Человек не может без стереотипов, которые помогают ему хоть как-то упорядочить многообразие мира в своем представле-

---

<sup>1</sup> Восприятие, перцепция (от лат. perceptio) – чувственное познание предметов окружающего мира, субъективно представляющееся непосредственным.

<sup>2</sup> Саймон, Г.А. Рациональность как процесс и продукт мышления / Г.А. Саймон // THESIS. – 1993. – Вып. 3. – С. 34.

<sup>3</sup> Саймон Г.А. Рациональность как процесс и продукт мышления / Г.А. Саймон // THESIS. – 1993. – Вып. 3. – С. 36.

нии. Обратной стороной этого явления становится то, что человек создает для себя удобную «псевдореальность», зачастую имеющую мало общего с реальностью подлинной, ибо даже то, что кажется бесспорным фактом, оказывается лишь очередным стереотипом.

Стереотипична как индивидуальная жизнь человека, так и общественная. Выдающиеся ученые прошлого давно обратили на это внимание. Так, например, Фрэнсис Бэкон в своем «Новом Органоне» («Истинных указаниях для истолкования природы»)<sup>1</sup> разделил источники человеческих ошибок, стоящих на пути познания, на четыре группы, которые он назвал «призраками» (или «идолами»): «призраки рода», «призраки пещеры», «призраки площади» и «призраки театра» (табл. 1.2.1).

Стереотипы существенно влияют на восприятие человеком сообщений. У каждого человека имеются своеобразные «фильтры», сквозь которые он и воспринимает информацию. Они «отсекают» потоки излишней информации, не соответствующей его собственной модели мира. Фильтры восприятия определяют интерпретацию информации. Восприятие личностью одного и того же ощущения может отличаться из-за различной его интерпретации, поэтому люди создают разные картины или модели мира.

Таблица 1.2.1

#### Характеристика «призраков» Ф. Бэкона

Вид	Комментарий
Рода	Проистекают из самой человеческой природы, не зависят ни от культуры, ни от индивидуальности человека. «Ум человека уподобляется неровному зеркалу, которое, примешивая к природе вещей свою природу, отражает вещи в искривлённом и обезображенном виде»
Пещеры	Это индивидуальные ошибки восприятия (врожденные или приобретённые). «Ведь у каждого помимо ошибок, свойственных роду человеческому, есть своя особая пещера, которая ослабляет и искажает свет природы»
Площади (рынка)	Следствие общественной природы человека – общения и использования в общении языка. «Люди объединяются речью. Слова же устанавливаются сообразно разумению толпы. Поэтому плохое и нелепое установление слов удивительным образом осаждают разум»
Театра	Это усваиваемые человеком от других людей ложные представления об устройстве действительности. «При этом мы разумеем здесь не только общие философские учения, но и многочисленные начала и аксиомы наук, которые получили силу вследствие предания, веры и беззаботности»

Стереотипы часто делают поведение человека иррациональным, нелогичным для внешнего наблюдателя, имеющего другие стереотипы.

<sup>1</sup> «Органомом» (от греч. «инструмент, метод») философы называли логические сочинения Аристотеля. Фрэнсис Бэкон решил сотворить не менее масштабное произведение, назвав его «Новым Органомом». Главным методом научного познания мира Бэкон полагал индукцию, которая предполагает рассуждение от частного к общему и опирается на опыт.

Причина стереотипов лежит в психофизиологической сфере человека и определяется **доминантой** – устойчивым очагом повышенной возбудимости в коре и/или подкорке головного мозга. Наиболее полно исследовал механизм доминанты академик А.А. Ухтомский (1875–1942). Этот же механизм, но под другими названиями, изучался также в научных школах В.М. Бехтерева и И.П. Павлова.

В своем развитии доминанта проходит три стадии:

1) первая стадия (доминанта возникает под влиянием внутренней секреции, например, полового созревания и внешних раздражителей; в качестве поводов для подпитки доминанта привлекает самые разнообразные раздражители);

2) вторая стадия (это стадия образования условного рефлекса, по Павлову, когда из прежнего множества действующих возбуждений доминанта выбирает группу, которая для неё особенно «интересна», – выборка раздражителя для данной доминанты);

3) третья стадия (между доминантой и внешним раздражителем устанавливается прочная связь так, что раздражитель будет вызывать и подкреплять её).

Графически это выглядит следующим образом (рис. 1.2.1).

Таким образом, принятие решений, интуиция, творческие озарения, с одной стороны, а также шаблонность мышления, неприятие нового с другой – все это реализуется на основе вскрытого Ухтомским единого психофизиологического механизма – **принципа доминанты**.

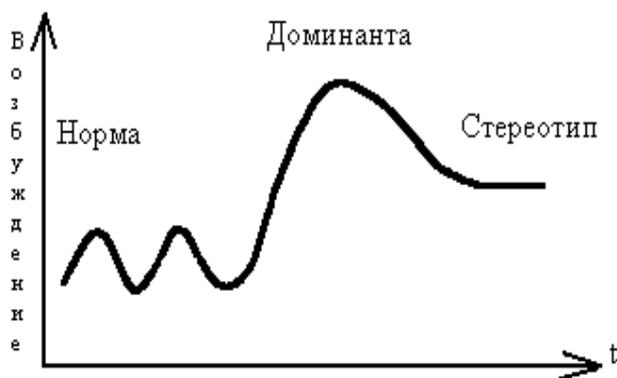


Рис. 1.2.1. Механизм формирования стереотипа

### 1.2.2. Понятие о психоинерции, её видах и способах преодоления

Википедия (wikipedia.org) определяет **инерцию** (от лат. inertia – бездействие, косность) как свойство тел оставаться в некоторых системах отсчёта в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения в отсутствие или при взаимной компенсации внешних воздействий. Иначе

говоря, это всеобщее свойство объектов сохранять какое-то время свое предшествующее состояние (движения или покоя).

Тогда **психологическая инерция** (коротко – **психоинерция**) может быть определена как свойство психологической сферы человека сохранять свое предшествующее состояние. Говоря о психоинерции, мы часто говорим о **привычке** – сложившемся способе поведения, осуществление которого в определённой ситуации приобретает для индивида характер потребности, которая «побуждает совершать какие-нибудь действия, поступки». При формировании привычки неоднократно выполняется какое-либо действие. Чрезвычайно важное значение имеет вызываемый осуществлением этого действия благоприятный эмоциональный фон. Действие является усвоенным, если по сути стало автоматическим и делается без усилий.

Специалистами по ТРИЗ выделяются следующие виды психологической инерции<sup>1</sup>: 1) привычной функции и функциональной направленности; 2) привычных терминов (или специальных терминов); 3) привычной формы или привычного внешнего вида; 4) привычных свойств, состояний, параметров; 5) привычного принципа действия, области знаний; 6) привычной неизменности объекта (псевдостатичности); 7) привычного состава, привычных компонент; 8) привычного измерения; 9) несуществующего запрета; 10) привычного действия; 11) единственности решения; 12) монообъекта; 13) привычной ценности (значимости) объекта; 14) традиционных условий применения; 15) известного псевдоаналогичного решения; 16) лишней информации. Их сущность кратко раскрывается ниже в табл. 1.2.2.

Таблица 1.2.2

#### Характеристика видов психологической инерции

Инерция	Сущность
1	2
Привычной функции	Направленность мышления выражается в том, что наше сознание закрепляет за данным объектом привычную для него функцию (объект всегда её выполняет), и когда необходимо применить объект по-новому, мы не можем «увидеть» другого применения объекта, а только привычное
Специальных терминов	Информация формулируется словами, за каждым из них сознание закрепляет некое содержание со временем становящееся стереотипным. Когда мы слышим (читаем) термин, из памяти в сознание подгружается его содержание, которое далее и участвует в мышлении. Для преодоления этой инерции предложена «терминологическая цепочка» (см. ниже)
Привычной формы	Внешний вид объекта, его форма тесно связана в нашей памяти с содержанием, которое и становится единственно верной информацией для нашего сознания в мыслительном процессе
Привычных свойств	Этот вид психоинерции связан с тем, что тот или иной объект обладает привычным для нас весом, цветом, размерами, температурой. Это и вызывает в нас сильнейшую психоинерцию
Привычных	Замена принципа действия любой системы практически всегда связана с

<sup>1</sup> Нами здесь используются материалы Санкт-Петербургской школы ТРИЗ, их автор – С.С. Литвин.

ного действия	переходом к новой области знаний, а это всегда вызывает большие психологические затруднения у специалистов (особенно у хороших)
---------------	---

Окончание табл. 1.2.2

1	2
Псевдо-статичности	Мы привыкаем к тому, что объект всегда такой, как мы привыкли его воспринимать, что он практически не меняется. А ведь внешние обстоятельства применения почти всех объектов меняются
Привычного состава	Обязательность наличия того или иного элемента в объекте может быть результатом чистой психоинерции. Просто привыкли, что объект состоит из таких-то элементов. Даже если элемент в системе нужен, то его исполнение может оказаться неоптимальным. Возможно, что он должен быть совершенно другим
Привычного измерения	Взаимодействие осуществляется только таким привычным способом, только в этом месте и в это время, а другое взаимодействие трудно себе представить
Несуществующего запрета	Анализируя результаты своих действий, мы отрабатываем зоны допустимой свободы в принятии решений и в своей деятельности. Появляется большое количество «табу», «нельзя» и т.п. Они то и выступают носителями-возбудителями психологической инерции, устанавливая негласные (часто несуществующие) запреты
Привычного действия	Инерция привычного действия может быть связана с тем, как человек держит, прикасается к данному объекту, с привычным характером действий, ощущений (моторная память), с привычной последовательностью действий (операций)
Единственности	Потребности в чем-либо удовлетворяются известными нам способами – они всегда так удовлетворялись, и это стало стереотипом, создавшим
решения	вектор инерции
Моно-объекта	Сильная инерция «сидит» в том, что если нам дали один объект, то мы и воспринимаем его в единственном числе. Очень часто нам в голову и не приходит удвоить, утроить объект, настолько мы задавлены психологической инерцией
Привычной ценности	Она связана с: а) самим объектом или его элементом – свойством, которое мы привыкли считать ценным; б) действием, про которое мы знаем, что оно самое главное, важное
Традиционных условий применения	Иногда её называют инерцией этапа жизненного цикла. Любой объект проходит в своей жизни некоторые этапы: проектирование, изготовление и отладка, серийное производство, упаковка, транспортировка, хранение, утилизация. Психологическая инерция связана с тем, что какое-то решение, свойство закладывается на одном этапе или для одного этапа, а на другом этапе начинает сильно мешать
Псевдо-анalogии	Часто инерция связана с тем, что человек только что решал задачу, которая ему кажется внешне похожей. Он начинает решать новую задачу точно так же, как предыдущую. Однако задачи оказываются схожи лишь внешне. На самом деле новая задача имеет другую природу
Лишней информации	Очень часто инерция связана с тем, что нас «забрасывают» информацией, которая не имеет отношения к данной проблеме, и нам очень трудно выделить ту информацию, которая нужна для решения данной задачи

Проблемные ситуации и производственные задачи обычно возникают у людей в процессе их профессиональной деятельности. Поэтому и формулируются они на профессиональном (специальном) языке – своеобразной профессиональной «фене». Именно отсюда и происходит проблема непонимания задачи. Ведь понятая решателем задача, по сути, и есть задача решенная. Согласно исследованиям А.В. Карпова в лоне психологии, на понимание задачи «уходит» до 96% всего времени решения задачи<sup>1</sup>.

Отсюда совершенно не случайно при создании поколений алгоритмов решения изобретательских задач (АРИЗ) в процессе становления ТРИЗ остро встала проблема преодоления специальных терминов<sup>2</sup>. Для достижения этих Г.С. Альтшуллером был предложен универсальный инструмент постижения смыслов, названный «терминологической цепочкой», пригодный для выхода на понимание сущности любых объектов и процессов:

**спецтермин (+) ↔ общенаучный термин ↔ функциональный (1)  
термин ↔ «детский» термин ↔ универсальный термин (–)**

На одном полюсе (+) цепочки находится частный (конкретный) спецтермин, а на другом полюсе (–) – обобщенный (абстрактный) универсальный термин. В центре цепочки человеку – решателю задачи приходится выявлять нужное слово, отражающее функцию исследуемого объекта. Это нелегко, ведь категория «функция» в философском смысле выводит на категории «сущность», «содержание», отражающие сокровенное. Однако при этом у решателя происходит концентрация внимания на глубинном смысле задачи. Помощь часто приходит из соседнего – «детского» термина. Справедливость изречения «Устами младенца глаголет истина» состоит в том, что дети исходно свободны от «терминологических шумов», а их мышление – функционально.

### **Вопросы для самопроверки**

1. В чем заключается сущность избирательности внимания человека? Почему люди видят (слышат) лишь то, что хотят видеть (слышать)?
2. Что такое стереотип и какую роль играют стереотипы в жизни людей и принятии решений?
3. Как связаны «призраки», описанные Ф. Бэконом и стереотипы?
4. Поясните, что такое доминанта А.А. Ухтомского и какова её роль в формировании стереотипов?
5. Что понимается под психологической инерцией?

---

<sup>1</sup> Карпов, А.В. Структурно-функциональная организация процессов принятия решения в трудовой деятельности: автореф. дис. ... д-ра псих. наук / А.В. Карпов. – М.: Институт психологии РАН, 1992. – 49 с.

<sup>2</sup> Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. – М.: Сов. радио, 1979. – С.155.

6. Назовите основные виды психологической инерции и кратко охарактеризуйте их.

7. Сколько времени затрачивается в процессе решения задачи на понимание её сущности?

8. Поясните, как выглядит и зачем нужна в процессе решения задач «терминологическая цепочка»

## ТЕМА 1.3. СЛОЖНОСТЬ ПРОЦЕССА МЫШЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА И ПОНЯТИЕ О ЕГО МОДЕЛИРОВАНИИ

### 1.3.1. Понятие мышления и способы его моделирования

Трудно возразить против точной мысли А. Эйнштейна о том, что «никакую проблему нельзя решить на том же уровне, на котором она возникла». Она подтверждает выводы, следующие из доказательств К. Гёделем его знаменитых теорем «О неполноте». Действительно, чтобы лучше понять какую-либо систему, необходимо выйти за её пределы.

Есть множество ярких изречений, связанных с проблемой познания сущности мышления. Так, Франсуа де Ларошфуко писал, что «многие жалуются на свою память, но никто не жалуется на свой ум», а Мишель де Монтень считал, что «мозг хорошо устроенный важнее, чем мозг, хорошо наполненный». Во всех этих афоризмах великих мыслителей подчеркивается важность изучения мышления и его закономерностей.

В науке для изучения сложных систем применяется **моделирование**. Как один из методов познания и преобразования мира оно получило широкое распространение с развитием науки, обусловившей создание новых типов моделей, раскрывающих новые функции самого метода (моделирование процессов и явлений микро-, макро- и мегамира, создание кибернетических и имитационных моделей, рождение системотехники и др.).

**Модель** есть заместитель исследуемого объекта. А.И. Уемов определил её как систему, «исследование которой служит средством получения информации о другой системе». По В.А. Штоффу, «модель – мысленно представляемая или материальная система, которая, отображая (воспроизводя) объект исследования, способна замещать его так, что её изучение дает новую информацию об объекте»<sup>1</sup>. При построении моделей надо соблюдать условия подобия или репрезентации (замещения) и экстраполяции (возможности распространения полученных данных на исследуемый объект).

Модели бывают разные, ученые делят их на **материальные и идеальные** (мысленные). Первые «работают» в ходе материальных экспериментов, а мысленные модели подразделяют на два класса: **иконические** (образные) и **знаковые** (символические). К первым относятся чувственные обра-

---

<sup>1</sup> Штофф, В.А. Моделирование и философия / В.А. Штофф – М.:-Л.: Наука, 1966. – С. 78.

зы, картины, кино-видеофильмы, схемы, чертежи, графики, карты, фотографии, а ко вторым – буквы и слова, математические, физические, химические и другие знаки (символы), их сочетания, формулы, уравнения. Есть статические и динамические, обобщающие и частные модели. Схема – яркий пример абстрактно-образной, обобщающе-конкретной модели, делающей наглядным абстрактное понятие. Это свойство трудно выразить в понятии. Схема занимает промежуточное положение между образом и понятием, служит опорой для понятия. Она – единство конкретного и общего, форма выражения общего в конкретном образе, возникающего в сознании как мысленный синтез.

Идеальные модели выступают как формы мышления, обобщения и абстрагирования, как формы раскрытия сущности и законов функционирования и развития вещей. Модели обладают информационной емкостью и точностью. Изложение информации, требующее много времени на словах, легко замещается рисунком (чертежом). Поэтому, затрудняясь в словах при описании какого-либо явления, прибегают к его рисунку или схеме.

Многие модели создаются путем **идеализации**. Идеализированные объекты предельны. В геометрии – это точка, прямая, плоскость; в физике абсолютный нуль, идеальный раствор (газ), абсолютно твердое тело и др. Идеальными моделями являются художественные образы. В ТРИЗ ими являются идеальная машина, идеальный конечный результат (ИКР)<sup>1</sup>.

Моделирование как универсальная форма познания применяется в любых сферах. Однако, если в 40–50-х гг. ушедшего века во многих областях техники применялись физические или механические модели, то с появлением ЭВМ выросло направление **математического моделирования**. Знание принципов построения позволяет экстраполировать модели из одной сферы в другую. Например, использование принципа аналогии позволило исследовать и описать сложное взаимодействие вооруженных противоборствующих сторон в виде процесса горения на границе двух сред<sup>2</sup>.

Проблема моделирования мышления из-за особой важности для бытия человека всегда занимала умы исследователей, но из-за изоляции научных школ гуманитарных и естественно-научных направлений, случившейся из-за утраты философией роли координатора наук ещё в первой четверти XIX века<sup>3</sup>, моделирование мышления осуществлялось в разных науках по-разному. Представители технических наук, кибернетики, специалисты в области управления, использовали формализованный математизированный аппарат, создавая либо концептуальные символические модели типа 1–3, ли-

---

<sup>1</sup> Альтшуллер, Г.С. Творчество как точная наука / Г.С. Альтшуллер. – М.: Сов. радио, 1979. – 175 с.

<sup>2</sup> Краснощеков, П.С. Принципы построения моделей / П.С. Краснощеков, А.А. Петров. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 264 с.

<sup>3</sup> Щедровицкий, Г.П. Избранные труды / Г.П. Щедровицкий. – М.: Шк. Культ. Полит., 1995. – 800 с.

бо более «жесткие» модели типа 4–7 (табл. 1.3.1). Ученые гуманитарных школ использовали нестрогие («мягкие») иконические (образные) модели.

К этому времени существование форм мышления, отличных от формально логических, было осознано психологами. Школой С.Л. Рубинштейна был выделен комплекс операций, названный «анализ через синтез»<sup>1</sup> (см. табл. 1.3.1). Позднее идеи «анализа через синтез» были развиты его учениками. Некоторое время логики и философы почти полностью игнорировали выводы психологов о существовании механизма «анализа через синтез», как и сам факт, что мышление есть процесс решения задач.

Однако стало ясно, что в процессе мышления включается в новые связи не материальный объект, а его идеальная модель. Механизм «анализа через синтез» является процессом мысленного эксперимента, процессом оперирования с моделью. В этот механизм мышления включаются в качестве операций гипотеза, модель и мысленный эксперимент. Оперируя моделями, человек мысленно ставит тот или иной объект в различные положения и подбирает ситуации, где должны проявиться его наиболее важные особенности.

В процессе мышления имеет место новизна продукта, внезапность и случайность. Некоторые ученые считали, что механизм творчества определяет **интуиция**. По В. Освальду, Г. Гельмгольцу, Ж. Адамару, творческий процесс – прерываемая цепь логических операций, он идет с отступлениями, возвратами, повторениями и лишь после усилий наступает озарение (инсайт). Анри Пуанкаре утверждал, что посредством логики доказывают, а интуиции – изобретают и отмечал, что «творческий процесс состоит из чередований сознательных и бессознательных усилий нашего мозга».

Природа интуиции до сих пор недостаточно изучена, но работы Б.М. Кедрова, В.Ф. Асмуса, Я.А. Пономарева и др. дают основания для её понимания. Современные ученые также не оставляют интуицию без внимания<sup>2</sup>. Делаются выводы в духе А. Спайера, что «это скорее итог, чем начало», т.е. интуиция – результат накопленного опыта. Решения, предлагаемые ею, лишь кажутся неожиданными, хотя они – следствие умственной работы. Обработка информации в подсознании не осознается, в сознание выходит лишь результат: если он получен, нам кажется, что произошло озарение. Поэтому в настоящее время под интуицией понимается результат статистической обработки информации в подсознании.

---

<sup>1</sup> Рубинштейн, С.Л. О мышлении и путях его исследования / С.Л. Рубинштейн. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 147 с.

<sup>2</sup> Науменко, Е.А. Введение в теорию интуиции и интуитивности / Е.А. Науменко. – Тюмень: Изд-во Тюм. гос. ун-та, 2013. – 212 с.

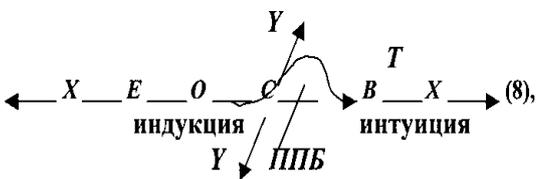
Таблица 1.3.1

## Анализ ряда моделей мыслительности человека

Ис-точник	Назначение модели	Форма представления модели с расшифровкой символов и смыслов
1	2	3
Евланов Л.Г. <sup>1</sup>	Формальная постановка задачи для индивидуального лица, принимающего решение (ЛПР)	$\langle S_o, T, Q   S, A, B, Y, f, K, Y^* \rangle, \quad (1)$ <p>где слева от черты символы, соответствующие известным, а справа – неизвестным элементам задачи. Здесь <math>S_o</math> – проблемная ситуация; <math>T</math> – время для принятия решения; <math>Q</math> – потребные для принятия решения ресурсы; <math>S = (S_1, \dots, S_n)</math> – множество альтернативных ситуаций, доопределяющих проблемную ситуацию <math>S_o</math>; <math>A = (A_1, \dots, A_k)</math> – множество целей, преследуемых при принятии решения; <math>B = (B_1, \dots, B_k)</math> – множество ограничений; <math>Y = (Y_1, \dots, Y_m)</math> – множество альтернативных вариантов решения; <math>f</math> – функция предпочтения, используемая данным лицом, принимающим решения; <math>K</math> – критерий выбора наилучшего решения; <math>Y^*</math> – оптимальное решение</p>
	То же, при неизвестности времени и ресурсов	$\langle S_o   T, Q, S, A, B, Y, f, K, Y^* \rangle \quad (2)$
	То же, при постановке задачи для группового решения	$\langle S_o, T, Q   S, A, B, Y, F(f), L, K, Y^* \rangle, \dots\dots(3)$ <p>где <math>S_o, T, Q, S, A, B, Y, K</math> имеют те же самые значения, что и для индивида; <math>F(f)</math> – функция группового предпочтения; <math>L</math> – символ принципа согласования предпочтений индивидов для формирования группового предпочтения</p>
Растринин Л.А. <sup>2</sup>	Общая схема процесса творческой деятельности и задачи:	$Q(U) \rightarrow \min \Rightarrow U^*, \quad (4)$ $U \in P$ <p>где <math>P</math> – множество допустимых результатов творческой деятельности; <math>U^*</math> – искомый оптимальный результат деятельности</p>
	– отыскания субобъекта для заданной среды $S$ и цели $Z^*$	$Q(F, S, Z^*) \rightarrow \min \Rightarrow F^*_{SZ^*}, \quad (5)$ $F \in W$ <p>Это обычная изобретательская и конструкторская деятельность по отысканию новых решений и способов</p>
	– отыскания среды $S$ , в которой имеющийся субобъект $F$ удовлетворяет заданной цели $Z^*$ .	$Q(F, S, Z^*) \rightarrow \min \Rightarrow S^*_{FZ^*}, \quad (6)$ $S \in V$ <p>где <math>V</math> – множество допустимых сред. Это творческие усилия по отысканию новых областей применения для имеющихся систем</p>

<sup>1</sup> Евланов, Л.Г. Теория и практика принятия решений / Л.Г. Евланов. – М.: Экономика, 1984. – 175 с.

<sup>2</sup> Растринин, Л.А. Случайный поиск как модель творческой деятельности Л.А. Растринин // Теория и практика обучения научно-техническому творчеству; под ред. В.Я. Ляудис. – М.: НПО «Поиск», 1992. – С.151–156.

1	2	3
	<p>– отыскания рациональной цели <math>Z^*</math>, которая удовлетворялась бы имеющимся суб-объектом <math>F</math> в заданной среде <math>S</math></p>	$Q(F, S, Z^*) \rightarrow \min \Rightarrow Z^*_{FS^*}, \quad (7)$ $Z^* \in \Omega$ <p>где <math>\Omega</math> – множество рациональных целей. Это деятельность по качественно новому использованию известных идей</p>
<p>Рубинштейн С.Л.<sup>1</sup></p>	<p>Описание мыслительного процесса</p>	<p>«Анализ через синтез». «...центральный вопрос - что представляет собой по своему процессуальному составу мыслительный процесс... – можно... сказать, что это анализ и синтез, анализ через синтез. Анализ - как и синтез - выступает в многообразных формах... основной нерв процесса мышления заключается в следующем: объект в процессе мышления включается во все новые связи и в силу этого выступает во все новых качествах, которые фиксируются в новых понятиях; из объекта, таким образом, как бы вычерпывается всё новое содержание, он как бы поворачивается каждый раз другой своей стороной, в нем выявляются все новые свойства»</p>
<p>Гадамер Х.Г.<sup>2</sup></p>	<p>Принцип герменевтического круга (спирали)</p>	<p>Всякое понимание начинается с предпонимания, которое часто связывают с интуитивным постижением целого, опираясь на которое, переходят к познанию его частей, а затем на основе знания частей получают более полное знание целого. Познание – непрерывный процесс интерпретации, творения мыслей, в котором можно выделить следующие процедуры: 1) интерпретацию – первоначальное приписывание тексту смысла и значения; 2) реинтерпретацию – уточнение и изменение смысла и значения; 3) конвергенцию – объединение, слияние прежде разрозненных смыслов и значений; 4) дивергенцию – разъединение прежде единого смысла на определенные подсмыслы; 5) конверсию – качественное видоизменение смысла и значения, их радикальное преобразование</p>
<p>Кедров Б.М.</p>	<p>Общая познавательно-психологическая схема научно-технического творчества</p>	 <p>где <math>E</math> - единичное, <math>O</math> – особенное, <math>B</math> – всеобщее, <math>ППБ</math> – познавательно-психологический барьер, <math>T</math> – трамплин, <math>C</math> – подсказка, возникающая в точке пересечения двух независимых рядов: 1) <math>X-X</math> – движения творческой мысли, ищущей путь перехода</p>

<sup>1</sup> Рубинштейн, С.Л. О мышлении и путях его исследования / С.Л. Рубинштейн. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – С. 98–99.

<sup>2</sup> Гадамер Х.Г. Истина и метод. Основы философской герменевтики / Х.Г. Гадамер; пер. с нем. – М.: Прогресс, 1988. – 704 с.

1	2	3
Кедров Б.М. <sup>1</sup>		от <b>O</b> к <b>B</b> ; 2) <b>Y–Y</b> – внешнего события, которое вклинивается со стороны в работу мысли, как бы пересекая ряд <b>X–X</b> . Второй ряд <b>Y–Y</b> , увлекая мысль, безуспешно пытающуюся пробиться через препятствие ( <b>ППБ</b> ) по <b>X–X</b> , на трамплин <b>T</b> , ведет к его обходу, как это показано стрелкой
Кедров Б.М. <sup>2</sup>	Ряд эволюции анализа в его соотношении с синтезом в развитии научного (и преднаучного) познания	$a \rightarrow A (s) \rightarrow A + S \rightarrow S (A) , \dots (9)$ <p>где стрелки указывают переход от более низкой к более высокой ступени познания; <b>a</b> отвечает начальной фазе познания; <b>A (s)</b> – развитому анализу, результаты которого контролируются зародышевым синтезом; фаза <b>A + S</b> – развитым анализу и синтезу, которые пока ещё сосуществуют друг с другом, т.к. синтез уже вышел из прежнего подчинения анализу, но не успел подчинить себе этот анализ; фаза <b>S (A)</b> – высшему синтезу, подчинившему себе анализ и выступающему в диалектическом единстве с ним. Так совершается переход от зачаточной формы анализа <b>a</b> до высшего синтеза <b>S (A)</b>, схема позволяет понять «механизм» действия отрицания и отрицания отрицания в ходе познания</p>
Шумилин А.Т. <sup>3</sup>	Модель структуры этапов творчества	Выделяют четыре основных этапа творчества: 1) осознание, постановка, формулирование проблемы; 2) нахождение принципа решения (решающая гипотеза, идея изобретения, замысел художественного произведения); 3) обоснование и развитие найденного принципа (теоретическая, конструкторская, технологическая разработка); 4) конкретизация и доказательство гипотезы в научном творчестве, конструкторская разработка идеи – в техническом и разработка замысла в художественном творчестве
Матюшкин А.М. <sup>4</sup>	Схема процесса решения задачи	1 этап – «усвоение» (анализ задачи); 2 этап – поиск связей, не имевших ранее отношения к решаемой задаче; 3 этап – «реализация найденного принципа» (операция создания конструкции); 4 этап – проверка правильности решения

<sup>1</sup> Кедров, Б.М. О творчестве в науке и технике Б.М. Кедров. – М.: Мол. гвардия, 1987. – 192 с.

<sup>2</sup> Кедров, Б.М. Противоречивость познания и познание противоречия / Б.М. Кедров // Диалектическое противоречие. – 1979. – С. 9–38.

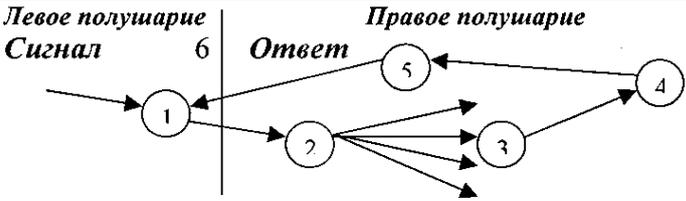
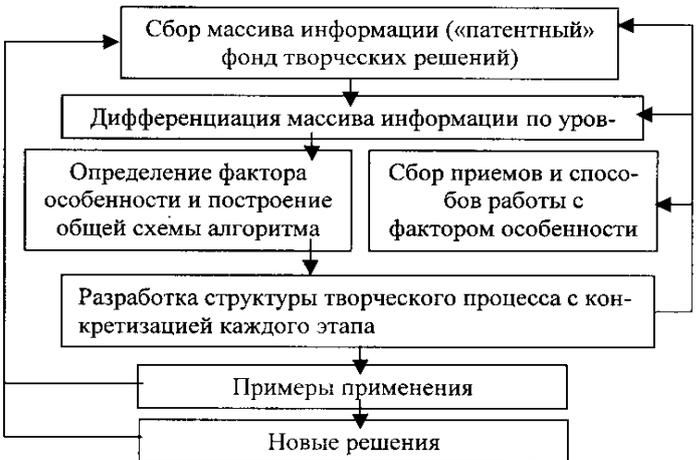
<sup>3</sup> Шумилин, А.Т. Проблемы теории творчества / А.Т. Шумилин. – Высш. школа, 1989. – 143 с.

<sup>4</sup> Матюшкин А.М. Проблемные ситуации в мышлении и обучении / А.М. Матюшкин. – М.: Педагогика, 1972. – С. 32–51.

1	2	3
Белозерцев, В.И. <sup>1</sup>	Модель структуры технического творчества	Первый этап творения нового технического объекта – формирование проблемной ситуации с осмыслением ее структуры субъектом, формулировки технических задач. Второй – рождение и вынашивание новых идей (нового принципа), третий – разработка идеальной модели, четвертый – этап конструирования (продукты – эскизные/технические проекты, рабочие чертежи или модельно-макетное воплощение). Пятый этап – этап – предметного воплощения изобретения в новом техническом объекте
Могилевский В.Д. <sup>2</sup>	Обобщенное описание процесса познания	Субъект познания (Личность) представлен совокупностью психо-эмоциональной (ПЭМ) и физиологической моделей (ФМ). В ПЭМ размещена модель внутреннего мира субъекта (МВМ) как отражение его предшествующей познавательной деятельности, содержащее представление о внешнем мире. Она подвижна, не имеет знаковой выраженности, постоянно расширяется и уточняется в сторону сближения с объективной реальностью. На МВМ доминирующее влияние оказывает ФМ. Но МВМ субъекта далеко не адекватна модели познанного мира, как некоему банку знаний, имеющемуся в распоряжении человечества, из-за её субъективного характера. Тяга к знаниям обусловлена противоречием между текущим и желаемым состояниями Личности, т.е. дискомфортом внутреннего мира субъекта, стремящегося упрочить гомеостаз, сделать его максимально удобным для отправления своих жизненных функций. Осознание познания как условия существования Личности ведет к её активной познавательной деятельности. Причиной является запрос на познание, обращенный, во-первых, к внутреннему миру Личности, во-вторых, к непознанному миру и, в-третьих, к структурированной модели мира. Результат действий – в генерации сведений, составляющих реакции соответствующих моделей на познавательные усилия Личности. Они фиксируются как входные сигналы ПЭМ, корректируют ранее приобретенную субъектом информацию и составляют текущее знание Личности в данный момент времени
Альтшуллер Г.С., Шапиро Р.Б.	Приближенная схема творческого процесса	Схема творческого процесса представляется в виде: <b>Аналитическая стадия:</b> 1. Выбор задачи. 2. Определение основного звена задачи. 3. Выявление решающего противоречия. 4. Определение непосредственной причины противоречия; <b>II. Оперативная стадия:</b> 1. Исследование типичных приемов решений (прообразов): а) в природе, б) в технике. 2. Поиски новых приемов решения путем изменений: а) в пределах системы, б) во внешней среде, в) в сопредельных системах;

<sup>1</sup> Белозерцев, В.И. Техническое творчество. Методологические проблемы / В.И. Белозерцев. – Ульяновск: Приволжское кн.изд-во, 1975. – С. 132, 140, 143, 149.

<sup>2</sup> Могилевский, В.Д. Методология систем: вербальный подход / В.Д. Могилевский. – М.: Экономика, 1999. – 251 с.

1	2	3
Альтшуллер Г.С., Шапиро Р.Б. <sup>1</sup>	Приближенная схема творческого процесса	<p><b>III. Синтетическая стадия:</b> 1. Введение функционально обусловленных изменений в систему. 2. Введение функционально обусловленных изменений в методы использования системы. 3. Проверка принципа применимости принципа к решению других технических задач. 4. Оценка сделанного изобретения</p>
Маслова Н.В. <sup>2</sup>	Модель механизма поиска символа при восприятии информации	 <p>где 1 – формулировка задачи, 2 – образ задачи, 3 – поиск аналога, 4 – сравнение, 5 – проживание нового образа, 6 – ответ</p>
Джиджян Р.З. <sup>3</sup>	Модель структуры научного исследования	<p>По Р.З. Джиджяну, «структура процесса научного исследования представляется схемой: формулировка (возникновение) проблемы, выдвижение гипотезы (идеи решения исследуемой задачи), её проверка и совершенствование»</p>
Магерамов, Г. <sup>4</sup>	Модель этапов алгоритмизации творческого процесса	

<sup>1</sup> Альтшуллер, Г.С. О психологии изобретательского творчества / Г.С. Альтшуллер, Р.Б. Шапиро // Вопросы психологии. – 1956. – № 6. – С. 37–49.

<sup>2</sup> Маслова, Н.В. Ноосферное образование: биоадекватные учебники Н.В. Маслова. – М.: Институт Холодинамики, 1998. – 25 с.

<sup>3</sup> Джиджян, Р.З. Процесс научного поиска: структура, этапы и средства / Р.З. Джиджян // Вопросы философии. –1986. – № 1. – С. 88.

<sup>4</sup> Магерамов Г. Об общих принципах построения алгоритма творческого процесса / Г. Магерамов // Технологии творчества. – 1998. – № 3. – С. 48–52.

1	2	3
Альтшуллер Г.С. <sup>1</sup>	Модель «механики творческого процесса» («поиска – выжидания – озарения»)	<p>«Задача ставится в терминах, обладающих инерцией и скрыто подталкивающих мысль в направлении, противоположном тому, где лежат новые идеи. Именно поэтому первая фаза творческого процесса (если он ведется бессистемно) обычно не приводит к решению задачи». Схема фаз изобретательства:  <b>Условие задачи</b> отображается так: <math>A \Leftrightarrow B \Leftrightarrow V \Leftrightarrow G</math>, где буквы <b>A, B, B, G</b> – части машины, а <math>\Leftrightarrow</math> – существующие связи между частями. На <b>первой</b> (аналитической) фазе исходная формула еще не разрушается. Связи между частями машины лишь слегка ослабляются: <math>A \leftrightarrow B \leftrightarrow V \leftrightarrow G</math>.  На <b>второй</b> фазе человек почти не думает о задаче. Но тут проявляется положительная роль инерции мышления. По инерции расшатанные связи продолжают ослабляться и постепенно совсем рвутся: <b>A B B G</b>.  Теперь изобретатель может легко переставлять части, менять характер связи между ними. В результате <b>третьей</b> фазы возникает новая формула машины: <b>V = A = G = B</b></p>
Пиаже Ж. <sup>2</sup>	Операциональная концепция интеллекта Ж. Пиаже	<p>Информация, воспринимаемая человеком, проходит 4 этапа:  1). сенсорно-моторный (чувственное восприятие); 2) символный (образное «свертывание» чувственно-логической информации); 3) логический (дискурсивно-логическое осмысление информации); 4) лингвистический (аккомодация информации в сознании через слово-образ, проработанный на 1-3 этапах)</p>
Панин Д.М. <sup>3</sup>	Схема мышления по Д.М. Панину	<p>Работа мышления происходит по цепи:  <b>Я (монада) → каналы главной густоты → волевая густота → мозг ← обратная связь .</b>  Повторение в том же порядке вплоть до обретения результатов. При разрешении сложных задач монада использует свой космический ум (проявление интуиции, озарений). Здесь: монада – носительница духа, образующая центр души человека, его <b>Я</b> (эго); главная и волевая густоты – густоты души</p>
Шамаков Б.В.	Модель мыслительного процесса	<p>В модели отражены следующие принципы:  1. Информация, поступающая из окружающего мира, проходит последовательную обработку в различных функциональных полях мозга;  2. Вся поступающая информация одновременно участвует в формировании внутреннего образа объекта;  3. В различных информационных полях мозга осознается только функционально согласованная информация;</p>

<sup>1</sup> Альтшуллер, Г.С. Алгоритм изобретения / Г.С. Альтшуллер. – М.: Московский рабочий, 1969. – С. 211.

<sup>2</sup> Пиаже, Ж. Избранные психологические труды. – М.: Международная педагогическая академия, 1994. – С.55–237.

<sup>3</sup> Панин, Д.М. Теория густот. Опыт христианской философии конца XX века. – М.: Мысль, 1993. – С.107–108.

1	2	3
Шмаков Б.В. <sup>1</sup>	Модель мыслительного процесса, включающая функциональные этапы восприятия, обработки, преобразования и выдачи информации.	<p>4. На любом этапе обработки информации процесс может быть завершен и информация переводится в зону хранения в соответствующем данному моменту виде и на соответствующем уровне осознания;</p> <p>5. На любом этапе обработки информации может произойти вербализация образа и тогда происходит параллельная обработка как первичной информации от объекта, так и всей ранее освоенной информации, которая сопутствует данному вербализованному образу;</p> <p>6. Память имеет иерархическую структуру и с помощью специальной процедуры (кольцо управляющих психоэффектов) можно переводить информацию с одного уровня на другой (за счет осознанного и неосознанного процесса повторной обработки информации в функциональных зонах мозга);</p> <p>7. Психоэффект вербализации также имеет иерархическую структуру, в которой информация переходит с одного уровня на другой при помощи логических процедур осознания и обработки понятия-образа;</p> <p>8. Каждому этапу обработки информации соответствует функциональная зона или функциональная последовательная процедура (внутри одной зоны)</p>

Б.М. Кедров исследовал творческое мышление, опираясь на единство, по Ф.Энгельсу, категорий диалектической логики (единичного, особенного и всеобщего). Известна предложенная им схема научно-технического познания (см. модель 8 табл. 1.3.1). Сопоставляя результаты работ Б.М. Кедрова (модели 8–9) с работами С.Л. Рубинштейна в свете критериев норм научного познания (интерсубъективности, непротиворечивости и проверяемости), можно заметить, что они подтверждают (верифицируют) и дополняют друг друга. Взаимосвязь и взаимопереходы анализа-синтеза отмечались многими учеными. Так, например, говоря о находках в позднейшей химии, Ф. Энгельс высказывался, что химия, в которой преобладающей формой исследования является анализ, ничего не стоит без его противоположности – синтеза<sup>2</sup>.

**Роль случая** в мышлении видна на примере случайной подсказки (С) в «трамплинной» модели Б.М. Кедрова<sup>3</sup> (см. модель 8 в табл. 1.3.1)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Шмаков, Б.В. Функциональный подход в моделировании мыслительного процесса: наработка и коррекция / Б.В. Шмаков // Опыт применения современных методов и средств обучения в ЧГТУ: тез. докл. науч.-методич. конф. – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1997. – С. 18–27.

<sup>2</sup> Маркс, К. Сочинения / К. Маркс, Ф. Энгельс. – М.: Политиздат, 1955–1975.

<sup>3</sup> Кедров, Б.М. О творчестве в науке и технике / Б.М. Кедров. – М.: Молодая гвардия, 1987. – 192 с.

Возврат и повторение – необходимые операции познания по **герменевтическому** кругу (герменевтической спирали) в философской герменевтике<sup>2</sup>. С чисто формальной точки зрения модель герменевтического круга кажется логически противоречивой, т.к. познание в нём совершается от целого к частям, а затем вновь обращается к целому. Однако этот «круг не следует низводить до порочного» (М. Хайдеггер), ибо возврат мышления происходит в нём от частей не к прежнему, а новому, обогащенному исследованием его частей, целому, т.е. круг познания расширяется, раскрывая более широкие сферы познания. Это очень важно, т.к. по точной мысли Э. де Боно, «...мыслительный аппарат – это система, которая рождает клише и их же постоянно использует»<sup>3</sup>. Технология познания по герменевтическому кругу (спирали) хорошо согласуется с результатами исследований физиологов (см. рефлекторное кольцо у Н.А. Бернштейна).

Предлагая свою модель процесса познания субъектом внешнего мира, В.Д. Могилевский (рис. 1.3.1)<sup>4</sup> разделил последний на две части (познанную и непознанную), подчеркивая, что внутренний мир человека, построенный в его сознании, также является внешним по отношению к эго, т.к. он подвергается изучению субъекта на протяжении всей его жизни. Познанный мир – это структурированное информационное пространство, содержащее в знаковой форме совокупность достоверных, проверенных практикой и предположительных (в виде гипотез) знаний о внешнем мире. Однако модель В.Д. Могилевского (см. рис. 1.3.1) дает лишь концептуальное обобщенное описание процесса познания без детального рассмотрения последовательности мысленных действий (шагов).

---

<sup>1</sup> В английском языке появился даже специальный термин – serendipity – способность не проходить мимо случайных явлений, не считать их досадной помехой, а видеть в них ключ к разгадке тайн природы, ключ к решению сложных задач.

<sup>2</sup> Гадамер, Х.Г. Истина и метод. Основы философской герменевтики / Х.Г. Гадамер: пер. с нем. – М.: Прогресс, 1988. – 704 с.

<sup>3</sup> Де Боно, Э. Латеральное мышление / Э. де Боно. – СПб.: Питер Паблишинг, 1997. – С. 43.

<sup>4</sup> Могилевский, В.Д. Методология систем: вербальный подход / В.Д. Могилевский. – М.: Экономика, 1999. – С. 237–243.

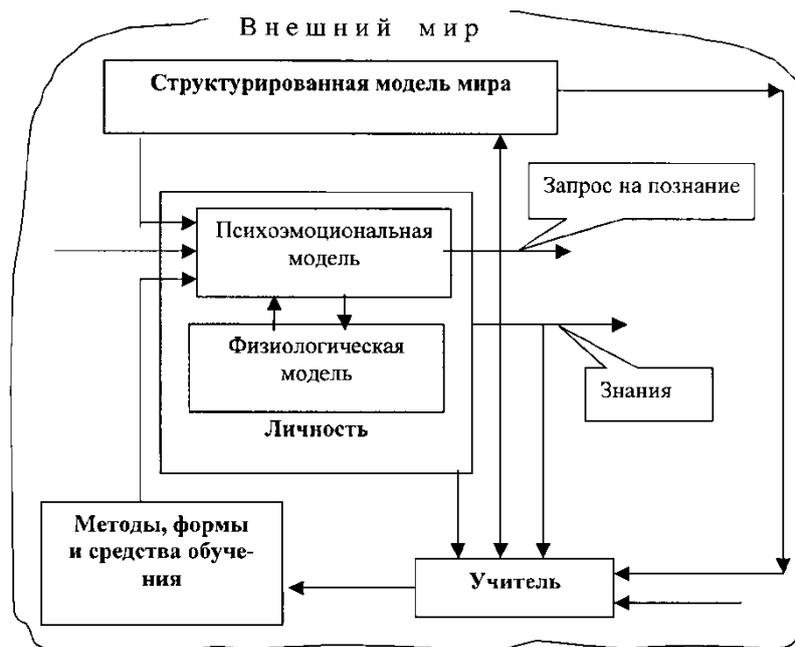


Рис. 1.3.1. Схема взаимодействия при познании мира

Также обобщенно, однако уже с некоторой детализацией шагов дан механизм поиска символа в процессе восприятия информации (решении какой-либо задачи) в модели Н.В. Маслоу<sup>1</sup>. После формулировки задачи левым полушарием в правом полушарии формируется первоначальный образ и ведется поиск аналога, затем через сравнение и проживание формируется ответ, выводимый снова в левое полушарие (см. табл. 1.3.1). Здесь нетрудно видеть согласование с мнением Л.С. Выготского о том, что мышление – это разговор полушарий головного мозга – логического и образного.

Попытки понять **структуру мышления** предпринимались многими исследователями (Я.А. Пономаревым, Н.А. Венгеренко, А.М. Матюшкиным, Г.Я. Бушем, Н.Н. Кирилловой, В.А. Болотинным и др.). Простейшая модель мышления включает два этапа: постановку проблемы (задачи) и её решение, однако при этом структура решения остается невыясненной, т.к. существенным моментом мышления является нахождение идеи (принципа) решения проблемы, разработка её и проверка<sup>2</sup>. Анализ моделей процессов научного и технического творческого мышления демонстрирует их заметное сходство (см. табл. 1.3.1).

А.Ф. Эсаулов, вводя понятие «инверсионного мышления», говорит о его 6 стадиях: усмотрения, выявления и постановки задачи, условно-

<sup>1</sup> Маслоу, Н.В. Ноосферное образование. Биоадекватные учебники / Н.В. Маслоу. – М.: Институт Холодинамики, 1998. – С. 11–12.

<sup>2</sup> Шумилин, А.Т. Проблемы теории творчества: монография / А.Т. Шумилин. – М.: Высш. школа, 1989. – 143 с.

схематического и реального решения, а также критического анализа найденного решения<sup>1</sup>. Однако, по мнению А.Т. Шумилина, 4-х этапная структура присуща всем видам творчества и представляется универсальной.

Схема А.М. Матюшкина согласуется со схемой А.Т.Шумилина в существенном моменте. Как и у В.И.Белозерцева, выделены как особые этапы нахождения принципа решения, его разработки и реализации. Этот важный момент рядом исследователей творчества не выделялся, хотя на него указывала ещё гештальт-психология. По А.М. Матюшкину, «...первый этап любого процесса решения задачи характеризуется как этап «усвоения». В ходе его анализируется задача, выявляется несоответствие знакомых человеку способов с новыми условиями задачи. Происходит отказ от известных способов решения. Возникает проблемная ситуация, главным элементом которой является неизвестное новое, то, что должно быть открыто для выполнения нужного действия». На втором этапе «человек для решения ищет (во внешних условиях и в собственном опыте) связи, не имевшие ранее прямого отношения к решаемой проблеме... выявляется такое новое отношение, которое ведет к «переконструированию» проблемы, к выявлению нового принципа действия, к пониманию решения». Третий этап – «реализация найденного принципа», он сводится к операциям создания конструкции, выполнения вычислений, обоснования доказательств. Здесь возможно появление новых проблем, что требует поиска новых принципов реализации. Четвертый – «заключительный этап решения проблемной задачи – проверка правильности решения. В некоторых случаях он непосредственно включается в этап реализации найденного принципа решения»<sup>2</sup>

Начиная с первых работ<sup>3</sup>, Г.С. Альтшуллер придерживался 3-х фазной структуры мышления, включающей аналитическую, оперативную и синтетическую стадии. Она не противоречит работам В.И. Белозерцева, Р.З. Джиджяна, А.Т. Шумилина и др., т.к. включает этап постановки задачи в качестве этапа аналитической стадии (см. табл. 1.3.1). Основой успеха является наиболее полный анализ проблемной ситуации, в первую очередь – базового противоречия, а если возможно, то и всей системы (иерархии) противоречий. Г.С. Альтшуллер подчеркивал, что при анализе изобретательской ситуации надо последовательно выявлять «административное» (социальное), техническое, а затем физическое противоречия<sup>4</sup>. Поначалу воз-

---

<sup>1</sup> Эсаулов, А.Ф. Активизация учебно-познавательной деятельности студентов: науч.-метод. пособие / А.Ф. Эсаулов. – М.: Высш. школа, 1982. – С.199.

<sup>2</sup> Матюшкин, А.М. Проблемные ситуации в мышлении и обучении / А.М. Матюшкин. – М.: Педагогика, 1972. – С.32–51.

<sup>3</sup> Альтшуллер, Г.С. О психологии изобретательского творчества / Г.С. Альтшуллер, Р.Б. Шапиро // Вопросы психологии. – 1956. – №6. – С.37–49; Альтшуллер, Г.С. Алгоритм изобретения / Г.С. Альтшуллер. – М.: Московский рабочий, 1969. – 270 с.

<sup>4</sup> См. Альтшуллер, Г.С. Творчество как точная наука.

никшее противоречие выглядит туманно. Так, например, новый экспериментальный факт противоречит теории и всем старым представлениям, но далеко не ясно, где сосредоточен тот узелок, который должен быть развязан. Постепенно в результате анализа противоречие обостряется, достигая остроты предельно сформулированной антиномии, тем самым уже формулируется, хотя и неявно, как бы негативное содержание нового понятия. Процесс обострения противоречия начинается на этапе постановки проблемы, а завершается на этапе поиска решения. Подготовка к решению проблемы предполагает её расчленение. Расчленение проблемы подготавливает формирование плана решения, построение «дерева» целей (системы подпроблем). Анализируя проблемную ситуацию, противоречия и предшествующий опыт их разрешения, исследователь пытается с ходу найти решение проблемы, т.е. начинает, по существу, поиск решения. Этот этап вполне правомерно включается в структуру творческой деятельности.

«Аналитическая стадия, – по Г.С. Альтшуллеру<sup>1</sup>, – наиболее «логизированная» часть творческого процесса... она представляет логическую последовательность суждений, исходной точкой которых являются... факты ... оперативная стадия ...представляет сочетание логических операций с операциями нелогическими. Здесь... приходится... вести «мысленный эксперимент», он преобладает только на оперативной стадии творчества».

Огромное значение работ Г.С. Альтшуллера состоит в том, что при исследовании процесса творчества и разработке ТРИЗ, включающей семейство алгоритмов решения изобретательских задач (АРИЗ) как оригинальных моделей мыследеятельности, он исходил из того важнейшего момента, что процесс создания изобретения имеет две стороны: материально-предметную и психическую. Первая сторона опирается на историю развития техники, понимание её основных закономерностей, а вторая – при выявлении психологических закономерностей творчества – на систематическое наблюдение за процессом работы творцов техники, обобщение опыта новаторов, экспериментальное исследование творческого процесса в условиях, приближенных к реальной действительности. В АРИЗ, по сути, произошло соединение логики формальной (описание задачи, определение её основного звена и т.п.) и логики диалектической (формулирование противоречий). Кроме того, в них имеются шаги возвратного (циклического) характера, роднящие его с этапами работы по герменевтической спирали. Поэтому нам представляется, что процедуры АРИЗ, опирающиеся на выявленные в сфере техники закономерности развития систем (по А. Эйнштейну, «гений человечества в двадцатом веке выражался в инженерии») и методы преодоления психологической инерции, более адекватно, нежели другие модели, описывают мыследеятельность человека.

---

<sup>1</sup> Альтшуллер, Г.С. О психологии изобретательского творчества / Г.С. Альтшуллер, Р.Б. Шапиро // Вопросы психологии. – 1956. – №6. – С. 41–42.

Рассматривая общие принципы построения алгоритмов творчества, ещё в 1973 г. Г. Магерамов<sup>1</sup> предложил схему их построения, иначе говоря, алгоритм построения алгоритмов (см. табл. 1.3.1). В ней нетрудно усмотреть цепочку от единичного («массив информации») к всеобщему через особенное («фактор особенности», классификационный признак или критерий).

Ввиду многофакторности и внутреннего динамизма, связанного с подвижной иерархической организацией процесса мышления невозможно зафиксировать всю информацию в одной модели. Таким образом, возникает **идея многомодельности в описании мыследеятельности**. Многомодельность, согласно авторам работы<sup>2</sup>, содержащая множество взаимодополнительных, а также взаимоисключающих моделей, опирающихся на противоположные допущения, обеспечивает многосторонность (в пределе – всесторонность) описания изучаемого объекта. Важно отметить, что современные исследователи указывают на включение логических противоречий как ведущей особенности создания моделей синтетических диалектических систем. Исследователи полагают, что не существует общей методики перехода от объекта к модели, составление модели каждый раз представляет собой творческий акт<sup>3</sup>.

Синтетична модель мыследеятельности, предложенная Б.В. Шмаковым<sup>4</sup>, вбирающая в себя результаты исследований психологии, физиологии, педагогики и методологии творческого мышления и сочетающая достоинства объясняющей и технологической моделей. Она дает интерпретацию информационной работы мозга. Б.В. Шмаков выделяет в последней четыре этапа. Первый этап обработки информации завершается построением статического Структурного Образа Объекта (СОО), второй – Динамической Структуры Образа Объекта (ДСОО), где осуществляется переход в динамическую (логическую) память. Если статическая (промежуточная) память напоминает накопитель заготовок для дальнейшей обработки, то в конце второго этапа мы имеем дело с готовыми деталями, из которых можно строить более сложные структуры (умозаключения). Третий этап завершается переходом на уровень эмоциональной памяти.

На уровне психоэффекта (ПЭ) Веры имеет место Системный Динамический Структурный Образ Объекта (СДСОО). В конце 4-го этапа форми-

---

<sup>1</sup> Магерамов, Г. Об общих принципах построения алгоритма творческого процесса / Г. Магерамов // Технологии творчества. 1998. – №3. – С. 48–52.

<sup>2</sup> Природа моделей и модели природы / Под ред. Д.М. Гвишиани, И.Б. Новика, С.А. Пегова. – М.: Мысль, 1986. – 270 с.

<sup>3</sup> Могилевский, В.Д. Методология систем: вербальный подход / В.Д. Могилевский. – М.: Экономика, 1999. – С. 49–50.

<sup>4</sup> Шмаков, Б.В. Функциональный подход в моделировании мыслительного процесса: наработка и коррекция / Б.В. Шмаков // Опыт применения современных методов и средств обучения в ЧГТУ: тез. докл. науч.-метод. конф. – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1997. – С. 18–27.

руется следующий (названный методическим) уровень памяти. Формой представления информации на нем является устойчивый символ-метка, содержащий в себе всю информацию о преобразовании и взаимодействии объекта – Второй Свернутый Системный Образ Объекта (ВССОО).

В объяснительном плане модель Б.В. Шмакова вполне согласуется с концептуальными подходами Ж. Пиаже. Известно, что суть «генетической эпистемологии», созданной Ж. Пиаже в противовес традиционному учению о взаимодействии субъекта и объекта познания состоит в рассмотрении развития интеллекта в зависимости от нарастающей активности субъекта во взаимоотношениях с внешним миром. Интеллект определяется им в контексте поведения, т.е. особого обмена между внешним миром и субъектом, причем интеллект обладает адаптивной природой. Поэтому познание не есть статическая копия реальности; суть интеллекта в деятельностной природе и его задача – структурирование отношений между средой и организмом. Уже восприятие предполагает понимание, осмысление, истолкование воспринятого, оно покоится на принятии решения и всегда предполагает выбор, в ходе которого человек сопоставляет полученную информацию с некоторыми эталонами, записанными в памяти. Таким образом, интеллект, по Ж. Пиаже, – система скоординированных между собой обратимых операций, причем его формирование (см. табл. 1.3.1) происходит по четырем этапам<sup>1</sup>. В результате этого пути прохождения информации происходит формирование и аккомодация мыслеобразов – голографических единиц мышления.

Д.М. Панин, анализируя наследие современных ученых (П. Вацлавика, И. Пригожина, Э. Морэна, Р. Жирара и др.), развивающих каждый в своей области идеи об организующем значении беспорядка, из которого возникает порядок, говорит об аналогичных выводах, сделанных им для мышления. Он вводит правило толчков, сформулированное на основе закона движения вещей, состоящее в наложении резких толчков (беспорядка) на спокойную постепенность (порядок). Под толчками понимаются догадки, обнаружение неожиданных возможностей и вкравшихся ошибок, пересмотр данных. В ходе мышления резкие толчки создают искусственные скачки. Здесь нетрудно усмотреть параллель с известной «трамплинной» схемой Б.М. Кедрова (см. табл. 1.3.1). Наиболее действенными возбудителями мысли являются неожиданные «лишние» толчки<sup>2</sup>. Д.М. Панин оговаривает, что правило толчков применимо лишь к мышлению и рекомендует применять в творческой работе таблицы толчков в виде вопросников и т.п.

Чем неожиданнее в них вопросы, тем эффективнее они выполняют роль толчков. Рассматривая тему «Человек», Д.М. Панин предлагает модель

---

<sup>1</sup> Пиаже, Ж. Избранные психологические труды / Ж. Пиаже. – М.: Международная педагогическая академия, 1994. – 680 с.

<sup>2</sup> Панин, Д.М. Теория густот / Д.М. Панин. – М.: Мысль, 1993. – С. 39.

души, как сгущение неких трансфизических частиц, занимающих пространство между корой головного мозга и сердцем. Монада (**Я** – дух человека) находится в сердце. В душе – следующие густоты: главная, волевая и густоты свойств души<sup>1</sup>. Мозг принимает внешние и внутренние сигналы. Часть внешних сигналов доходит до **Я** в душе человека в виде зрительных, слуховых и других ощущений, из которых складываются в сознании образы и понятия; другая их часть вызывает в подсознании ответные реакции в виде безусловных и условных рефлексов. При этом внутренние сигналы тела действуют по схеме внешних сигналов: рецептор – нервы – мозг – душа; внутренние сигналы души – по схеме: душа – мозг. **Я** тесно связано посредством каналов с элементами души и посылает приказы в мозг. Обратная связь представляет собой передачу сигналов из мозга по тем же каналам в **Я**, которое направляет их в густоты свойств; от силы сигнала зависит его влияние на густоты свойств.

Д.М. Панин дает следующую схему восприятия мира: 1) простейшее появление сознания (под которым он понимает проявление воли **Я** в управлении работой мозга в виде элементарных целесообразных решений); 2) восприятие действительности посредством феноменов: а) трансформации явления в ощущения; б) связи ощущений, создающих образ; в) осмысление явления, т.е. феномен б) с логической добавкой; 3) образование понятий на основе феномена в); воссоздание представлений, воздействуя усилием воли на механизм памяти при осмысливании восприятия. Работа кибернетической машины, по Д.М. Панину, может служить моделью работы системы душа – мозг. **Я** находится в сознании оператора, составляющего, настраивающего, расшифровывающего программу и регулирующего машину, а мозг представляет собой кибернетическую машину.

Но как бы ни была последняя совершенна в далеком будущем, она никогда не будет иметь души и, следовательно, сознания **Я**, обеспечивающего свободную волю, чувства, желания, и, несмотря на свои виртуозные логические, накопительные и прочие способности, всегда будет лишена качества, отвечающего настойчивости человека, без которой невозможно составление программы и устранение дефектов<sup>2</sup>.

Ведь ещё ранее Норберт Винер писал о большой слабости машины «в том, что она не может пока учесть ту огромную область вероятности, которая характеризует человеческую интуицию»<sup>3</sup>. Построение души и мозга на основе универсальных законов природы, безусловно, оказывает влияние на мышление.

По закону движения вещей Д.М. Панина и первому закону развития, мышление должно устанавливать наличие противоположностей в един-

---

<sup>1</sup> Там же. С.86–87.

<sup>2</sup> Панин, Д.М. Теория густот. – С. 105.

<sup>3</sup> Винер, Н. Кибернетика и общество / Н. Винер. – М.: ИЛ, 1958. – С. 185.

стве, их различие, неравенство, разность уровней. Так в мышлении сопоставляются разные понятия (да-нет, много-мало, густо-редко, быстро-медленно и т.п.), формируется его логика, применяются категории анализа и синтеза. Творческое начало незримо толкает мышление на поиск законов, обобщений, целесообразности, правил, выводов, целей. Образы физического мира влияют на представления и понятия. Космический ум обогащает решения ума. Схема мышления Д.М. Панина также приведена в табл. 1.3.1.

Излагая свой подход к психологическим аспектам творчества личности, В.В. Рудь отмечает, что как продукт эволюции биологического вида личность оснащена сложными иерархическими системами анализаторов (сенсорная система), эффекторов (система исполнительных органов), нервной системой (нейросеть), а также системой жизнеобеспечения. Их состояние, действие и взаимодействие определяют психосоматическое состояние личности, устойчивость и динамизм, информационно-моторное взаимодействие с внешней средой. Структурно-функциональная устойчивость личности определена и защищена наследственной и иммунной системами. Определенные структурно-функциональная гибкость и динамизм личности обусловлены многоклеточным и многоуровневым строением и структурно-функциональной избыточностью (резервированием) её систем. Это придает ей способность к обучению, самообучению и адаптации к разнообразным условиям внешней среды. Взаимодействие всех систем личности управляется иерархической нейросетью, образованной системой нервных клеток (нейронов), связанных между собой и клетками других систем с помощью аксонов, дендритов и синапсов. Нейросеть – своеобразная система обработки-хранения образов внешнего мира и алгоритмов управления и взаимодействия между внутренними системами<sup>1</sup>.

Знания, навыки и умения существуют в системе обучения в виде многоэлементных эталонных моделей – как совокупности знаний о внешней среде и системе обучения и внутренних моделей обучаемых. Последние синтезируются и хранятся в новых локальных областях коры и подкорки головного мозга и содержат информацию экзо- и эндогенного типов. Первая – модель знаний (МЗ), приближенно отображающих эталонные модели в памяти. Вторая содержит модели алгоритмов (МА) управления, определяющие ответные реакции личности на эталонные модели. Часть МА являются элементами эталонных моделей и, следовательно, МЗ.

Все параметры личности (мотивация, воля, память, знания, навыки и умения, способность к обучению, самообучению и творчеству, психотип, привычки, чувства, эмоции и др.), а также линия её поведения во внешней среде

---

<sup>1</sup> Рудь, В.В. Психологические механизмы творчества / В.В. Рудь // Психологическая поддержка в развитии творческой одаренности личности на всех этапах непрерывного образования: тез. докл. Российской науч.-метод. конф. – Челябинск: ЧГТУ, 1993. – С. 58–60.

определяются предысторией и процессами, происходящими на уровнях иерархии систем, прежде всего в трех сферах психики: подсознании, сознании и сверхсознании. Через системы анализаторов, эффекторов, дендрито-соматических и аксоно-синаптических связей эти сферы формируют знания (сознание), навыки и умения (сознание + подсознание) и творческую продуктивность личности (сознание + сверхсознание). Несмотря на единый внутренний механизм функционирования сфер психики в различных видах умственной деятельности личности они участвуют по-разному. При обучении и самообучении эталонные модели объектов и процессов внешней среды (системы обучения) в сферах сознания и подсознания формируются МЗ и МА. Эти МА определяют ответные реакции личности на ситуации внешней среды. Таким образом, при обучении и самообучении параметры моделей обучаемых, отмечает В.В. Рудь, полностью определяются экзогенной информацией об эталонных моделях. Нейросистема и другие системы адаптируются к внешней среде так, что приращение новых элементов МЗ происходит принудительно, только экзогенным способом. Творческая активность личности возникает лишь тогда, когда доминируют потребности самостоятельного улучшения качества МЗ (самообучение) или поиска новых элементов МЗ с заданным набором признаков (творчество). Решаются эти задачи снятием внутренней противоречивости многоэлементной МЗ. При этом активно включается стохастический механизм аксоно-синаптических связей, осуществляющий поиск разнообразных логических связей между элементами МЗ]<sup>1</sup>. Выдвигаются гипотезы, синтезируются новые элементы МЗ. После оценки качества новых элементов и их совместимости с МЗ и эталонными моделями выбираются лучшие гипотезы и новые элементы МЗ. Многократной проверкой практикой они включаются в эталонные модели. Приращение элементов МЗ и эталонных моделей в данном случае происходит эндогенным путем. Так, по мнению В.В.Рудя, функционирует сфера сверхсознания<sup>2</sup>.

### **1.3.2. Краткий обзор моделирования мышления человека**

Изучая фрагменты мозга А. Энштейна, М. Даймон обнаружила в его левом полушарии повышенное число глиальных клеток. Она назвала этот нейрологический коммутатор «ассоциативной областью других ассоциативных областей мозга». Глиальные клетки – «клей», связывающий нервные клетки друг с другом; они способствуют передаче сигналов между нейронами.

---

<sup>1</sup> В 1911 г. отец нейроанатомии Сантьяго Рамон-и-Кахаль обнаружил, что количество соединений между нейронами (синапсов) является мерой гениальности, причем этот показатель оказывается более важным, чем общее число нейронов. Эксперименты нейроанатома Калифорнийского университета в Беркли М. Даймон показали, что «физический механизм гениальности» можно создать путем умственных упражнений.

<sup>2</sup> Рудь, В.В. Психологические механизмы творчества. – С. 60.

В отличие от нейронов, которые не воспроизводятся с момента рождения человека, количество глиальных клеток, аксонов и дендритов растет, пока человек учится. Становление этих связей имеет гораздо большее значение для развития интеллекта, нежели количество нейронов в мозгу<sup>1</sup>.

Предлагая свою модель разума, учитывающую специализацию полушарий головного мозга, В. Вульф представил топологию разума в форме куба. Рассматривая два фундаментальных вида мышления (рациональный и интуитивный (табл. 1.3.2), отражающие, соответственно, «частичный» и «волновой» аспекты), он расположил на диагонали куба «холодинамическую плоскость» – «многомерное поле, где действуют и взаимодействуют все активные мыслеформы разума, где проходит синтез между рациональным и интуитивным мышлением, где мысли и поведение коррелируются, и где происходит большинство мыслительных игр»<sup>2</sup>.

Таблица 1.3.2

### Грани разума

Рациональный разум	Интуитивный разум
Фокусирование на частицах (различает ноты мелодии, буквы слов, все разносит на части)	Фокусирование на волне (слушает мелодию, получает устные, письменные послания, все соединяет вместе)
Аналитический (все анализирует, хочет знать все факты, детали, находит всему логическое объяснение)	Холистический (комбинирует и связывает, обрабатывает все виды информации одновременно; видит «целостную картину», делает квантовые скачки)
Буквальный (дает точное значение вещам, хочет места для всего, и чтобы всё было на своем месте)	Метафоричный (дает более глубокое значение, дополнительные обозначения вещам; допускает новые возможности)
Вербальный (образует и обрабатывает слова: транслятор центра речи, чтения и письма)	Эмоциональный (творит чувства, напряжения и страсть)
Логический (думает в определенной последовательности: «А», затем «Б»)	Воображаемый (воображает и мечтает, выдумывает истории; умеет играть; чувствует новые возможности)
Линейный (обрабатывает все одним шагом во времени; смотрит как одно следует за другим, являясь причиной другого)	Пространственный (соотносит ваше положение со всем, что есть вокруг вас; помогает вам найти путь вокруг дома, гулять или бежать «автоматически»)
Математический (фокусируется на числах и символах; считает, ищет правила, по которым все взаимодействует)	Творческий (ищет новых подходов в любой деятельности, решает проблемы, визуализирует)

При познании сложных явлений разуму свойственно двигаться индуктивным путем от простого к сложному. Так при построении модели системы вначале создаются микромоделли её отдельных элементов или проявле-

<sup>1</sup> Венгер, В. Неужели я гений? / В. Венгер, Р. Поу. – СПб.: Питер Пресс, 1997. – С. 19.

<sup>2</sup> Вульф, В. Холодинамика. Как развивать и управлять своей внутренней личностной силой / В. Вульф. – Ассоциация Холодинамики, 1995. – С. 22–25.

ний, чтобы в итоге прийти к макромоделю. Последняя описывает динамику множества микромоделей и обладает свойством целостности (несводимости её свойств к сумме микромоделей). Процесс агрегирования связан с переходом «единичное – особенное – общее», носителем чего и является макромоделю. Сказанное можно подтвердить схемой (рис. 1.3.2), на которую нами наложена цепочка познания Б.М. Кедрова.

В работе, выполненной группой А.А. Петрова, продемонстрировано искусство сочетания макро- и микромоделей в такой важной области приложения человеческого интеллекта как экономика<sup>1</sup>. В связи с тем, что сегодняшняя экономика становится инновационной, в ней резко возрастает интерес к человеческому капиталу, а это тесно связано с проблемами мышления.

С 90-х гг. ушедшего века в экономике развитых стран мира начались активные работы по реинжинирингу бизнес-процессов.

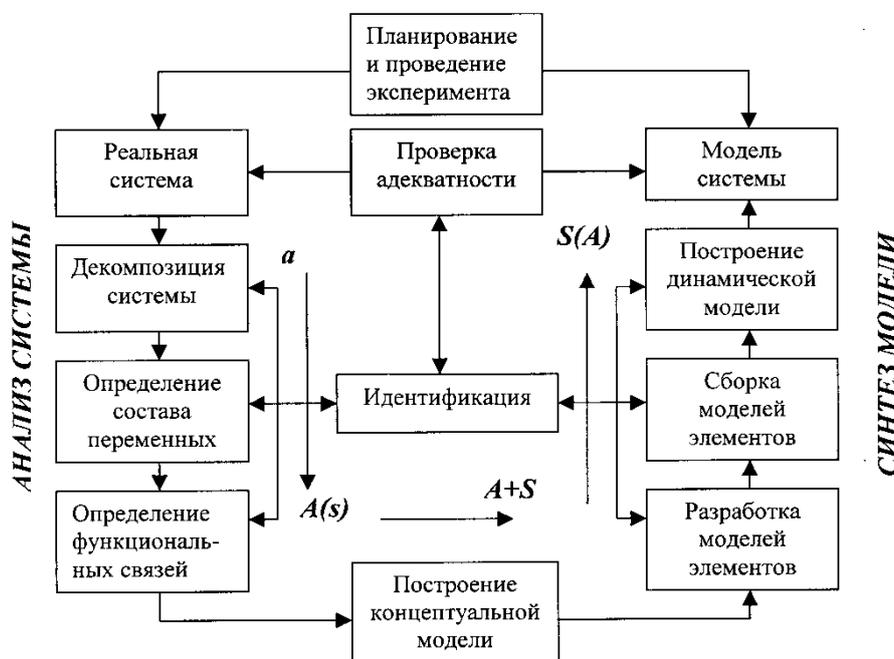


Рис. 1.3.2. Схема формирования математической модели системы

Их сутью является «фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов для достижения скачкообразных улучшений в решающих показателях деятельности компании»<sup>2</sup>. В связи с тем, что для кардинальных улучшений деятельности компании необходимо изменение всех её подсистем (технологической, организационной, информационно-экономической) всё чаще специалисты по инжинирингу обращаются к модельным средствам, полученным в технологиях изобрета-

<sup>1</sup> Петров, А.А. Опыт математического моделирования экономики / А.А. Петров, И.Г. Посрелов, А.А. Шанин. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 544 с.

<sup>2</sup> Hammer M. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution / M. Hammer, J. Champy. – N-Y: Harper Collins, 1993. – 256 p.

тельства. Специалисты по организационному инжинирингу и управленческому консультированию начинают активно использовать подходы идеального моделирования (например, идеальное предприятие), проработанные в ТРИЗ (идеальный конечный результат, идеальная машина). Ввиду своей предельности идеализированные объекты являются прекрасным ориентиром при поиске принципиально новых средств достижения целей.

Исследование систем, связанных с мышлением и деятельностью человека, где применение точных количественных методов связано с большими трудностями, требует новых подходов. Лотфи Заде разработан специальный математический аппарат для изучения «гуманистических» систем. Его основу составляют понятия **нечеткого множества и лингвистической переменной**, значения которой – не числа, а слова и предложения естественного или искусственного языка<sup>1</sup>. Лингвистические переменные и нечеткие (размытые) множества отражают момент неопределенности, характерный для сложных систем «гуманистического» типа. Неопределенности порождаются любой вероятностной системой, когда отсутствуют однозначно детерминированные связи. Тогда исследователь в лучшем случае может вывести только определенный тип статистики, некоторое распределение вероятностей. Как показал Л. Заде, вероятностный подход и методы нечетких множеств в чем-то соответствуют друг другу. Вероятности можно считать лингвистическими переменными со значениями «вероятно», «очень вероятно», «невероятно» и т.п. Так в теорию Заде входят лингвистические вероятности и, соответственно, усреднения по нечетким множествам<sup>2</sup>.

Интеллект внутренне противоречив. Он ориентирован на построение моделей внешнего мира и в то же время должен создавать модель самого себя, т.е. обладать способностью к рефлексии. Объективные и субъективные стороны усиливают и одновременно ограничивают друг друга. Г.Я. Буш обнаруживает своеобразный эпистемологический аналог соотношения неопределенностей Гейзенберга: чем сильнее контроль за наведением объекта, тем слабее рефлексивное начало, и наоборот.

Таким образом, механизмом творческого поиска является моделирование и мысленный эксперимент, оперирование моделями, которое осуществляется в формах анализа и синтеза. Такое мышление называют образным, образно-оперативным, в отличие от вербально-понятийного (знакового) мышления<sup>3</sup>. Огромное преимущество эксперимента как метода познания состоит в том, что в нём исследователь может создавать, произво-

---

<sup>1</sup> Заде, Л. Понятие лингвистической переменной / Л. Заде; пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 165 с.

<sup>2</sup> В работе разведки используется подобная структуре отмеченных выше значений вероятностей – пятиуровневая качественно-количественная шкала достоверности информации Ш. Кента (см. Плэтт, В. Информационная работа стратегической разведки: основные принципы / В. Плэтт; пер. с англ. – М.: ИЛ, 1958. – С. 248–249).

<sup>3</sup> Шумилин, А.Т. Проблемы теории творчества. – С. 88.

дить такие явления, которые при естественных условиях не существуют и часто не могут существовать, создавать необычные условия взаимодействия вещей, открывая новые связи и свойства вещей. Важнейшим требованием к эксперименту является создание таких условий взаимодействия явлений, которые обеспечили бы изучение исследуемых объектов в чистом виде и исключили влияние на их взаимодействие неучтенных, случайных факторов. В этом состоит сходство материального и мысленного эксперимента. Однако если в первом материальные предметы изменяются реально, то в ходе второго изменению в «уме» подвергаются лишь идеальные модели объектов, оригиналы остаются неизменными. Мысленный эксперимент – специфическая форма творческого мышления, материальный эксперимент – вид материального творчества. Построение моделей, анализ их трансформаций осуществляется мышлением, опирающимся на знание объективных законов развития, сущности, свойств, противоречий, присущим используемым в эксперименте объектам. Исход мысленного эксперимента зависит от правильности мышления. В его ходе также применяется критерий практики, но в снятой, опосредованной форме – форме использования приемов мышления, проверенных в прошлой практике. Мысленный эксперимент не отменяет практическую проверку, т.к. объективным критерием всегда является непосредственная проверка в практике.

В ходе материального эксперимента законы природы в силу их объективного характера не могут быть нарушены. В мысленном же эксперименте нарушения не исключены. Поэтому истинность результатов, получаемых в ходе мысленного эксперимента, окончательно устанавливаются практической проверкой. При этом правильно поставленный мысленный эксперимент убедительно демонстрирует творческий потенциал мышления.

Проведенные физиологами, психологами, кибернетиками исследования процесса решения задач (А.А. Фельдбаум, Н.А. Бернштейн, Е.Н. Соколов, В.М. Глушков, Д.А. Поспелов, О.К. Тихомиров, В.Н. Пушкин, В.Н. Садовский, Н.М. Амосов, Л.Л. Гурова, А.Ф. Эсаулов и др.) позволили установить, что важнейшим компонентом этого процесса является построение человеком **внутренней информационной модели предметов мира**. Исследования мышления указывают на исключительную роль построения модели имеющихся условий в формировании стратегии решения.

Модель не может быть создана раз и навсегда, а должна строиться каждый раз заново в зависимости от сути задачи. Построение модели исходит из смысла задачи. Мышление невозможно без построения моделей, их построение требует понимания смысла задачи, а смысл нельзя выразить посредством каких-то формальных операций. Модель и мысленный эксперимент – самые древние формы мышления. Они предшествовали понятийному мышлению так же, как образ предшествовал понятию.

По С.Л. Рубинштейну, Л.М. Веккеру, Н.И. Жинкину и др., в мышлении человек осознанно или неосознанно пользуется особой семиотической

системой – предметно-изобразительным кодом. Его элементами являются идеальные образные модели различного типа (схемы, графики). От семиотической системы чувственного уровня познания он отличается тем, что индивид сам приписывает значения элементам знаковой системы. Экспериментально доказано, что в абстрактном мышлении участвует не только словесный язык, но и наглядно-образные «языки» – образы чувственного познания и предметно-изобразительного кода. По С.М. Шалютину, в систему процесса абстрактного мышления входят три семиотические подсистемы: естественный язык, трехмерная неконвенциональная семиотическая система чувственного познания и трехмерный конвенциональный предметно-изобразительный код<sup>1</sup>.

Мышление протекает не только в **словесных, символических** (знаковых) формах, но и в **наглядно-чувственных, пространственно-образных, предметно-образных** формах. Исторически первым было предметное, «конкретное», образное мышление высших животных («рассудочная деятельность»). Она была часто вплетена в непосредственное действие, слита с ним. Мышление протекало как оперирование образами-моделями, гештальтами, структурами. Элементарной моделью выступало представление. Модель явилась формой абстрагирования и обобщения.

Естественный язык развивался не только как средство общения, но и как средство мышления. Существенным свойством естественного языка является конвенционализм. Использование слова как формы выражения мысли позволило создавать абстракции совершенно нового типа, которые невозможно было выразить в форме образа (к примеру, благородство, жестокость, закономерность, инерция). Новые возможности открыли и для мышления такие качества естественного языка, как избыточность, открытость, дискретность, линейность.

Уровень разработки теории мышления красноречиво характеризует факт, что для **обозначения типов мышления не существует еще общепринятых терминов**<sup>2</sup>. Так, вербально-понятийное мышление называют словесным, лингвистическим, речевым, понятийно-дискурсивным, логико-вербальным, вербально-понятийным, аналитическим, абстрактно-логическим. Наиболее точным термином для обозначения этого типа мышления представляется знаковое (вербально-понятийное), т.е. протекающее в форме знаков (слова), не имеющих в принципе никакого сходства – ни физического, ни геометрического – с обозначаемыми объектами мышления (конвенционализм). Его неточно называть словесным, ведь наряду со словом (естественным языком) применяются и языки математики (в т.ч. математической логики), химии и др.

---

<sup>1</sup> Шалютин, С.М. Язык и мышление / С.М. Шалютин. – М.: Знание, 1980. – 64 с.

<sup>2</sup> Шумилин, А.Т. Проблемы теории творчества. – С. 93.

Одной из ведущих функций мышления является решение задач творческого преобразования действительности, т.к. все остальные функции мышления и психики в целом обслуживают эту функцию. Она органически связана с удовлетворением постоянно возникающих новых потребностей общества и обслуживает процесс его движения и развития. При решении нестандартных задач широко применяются наглядно-образные, «трехмерные» модели. Они отличаются по сложности, уровню абстракции и обобщения от образов, используемых на ступени чувственного познания и предметного мышления животных. Выделяют два языка: один естественный, однолинейный (алгебраический), другой – трехмерный (геометрический). Понятие «язык» здесь расширено, оно трактуется как средство мышления, форма выражения мысли, хотя исходная и основная функция языка коммуникативная. По С.Л. Рубинштейну, «...когда мышление совершается в основном не в форме речи в специфическом смысле слова, а в форме образов, эти образы по существу выполняют в мышлении функцию речи... Постольку можно сказать, что мышление вообще невозможно без речи: его смысловое содержание всегда имеет чувственного носителя...»<sup>1</sup>. С точки зрения С.Л. Рубинштейна формула о том, что мышление невозможно без речи, вовсе не означает, что оно всегда протекает лишь на естественном языке.

Важность развития предметно-образного мышления обусловлена сложностью задач. Дискретность и линейность естественного языка затрудняют решение многих задач, требующих рассмотрения объектов, изменяющихся во времени в трехмерном пространстве, т.к. мир – это не только совокупность дискретных вещей, но и континуум перехода от одного в другое. Континуальной стороне действительности в мышлении соответствует континуум значений. Сталкиваясь в познании с новым предметом или свойством, человек не имеет готового слова для его обозначения. Трудность заключается не в отсутствии слова, а в отсутствии понятия в сознании. А когда ещё нет нового значения, на помощь приходит полисемия. Первоначальная расплывчатость значения является, таким образом, важным фактором познания нового объекта.

По С.М. Шалютину, метафорические образы, реализующиеся через полисемию, есть «клеточка познавательного моделирования, содержащаяся в самой структуре языка»<sup>2</sup>. Главное средство преодоления разрыва между дискретностью естественного языка и целостностью (континуальностью) объектов действительности – модель. Поэтому мышление использует оба вида представления – знаковое и предметно-образное, совершая постоянное переключение с одного вида на другой. Они дополняют друг друга. По С.М. Шалютину, переход от одного языка к другому – обязательный ком-

---

<sup>1</sup> Рубинштейн, С.Л. Основы общей психологии / С.Л. Рубинштейн. – М.: Учпедгиз, 1946. – С.416.

<sup>2</sup> Шалютин, С.М. Язык и мышление. – С. 28.

понент мышления. Он нелегко и связан с «муками поиска слова». Перевод часто отличается громоздкостью. Параллельная работа на двух языках (возможная при наличии субстратов мышления – левого и правого полушарий мозга) не исключает периодов размышления, осуществляемого в рамках одного типа мышления.

В.В. Налимов ввел **понимание двух родов**, где первое – понимание предмета рассуждения на логическом уровне, обеспечивающее репродуктивное (за счет памяти) воспроизведение усвоенной информации. Понимание второго рода – глубинное, позволяющее достичь такого владения предметом, когда становится возможной творческая деятельность – человек может самостоятельно находить ответы на неожиданные вопросы, открывая новые связи в предмете, законы поведения и угадывая перспективы развития. При этом знание не вы зубривается, а органично входит в категорию интуитивного мышления. Эти идеи соответствуют представлениям о двух уровнях мышления – знакового, символического и развернутого, наглядно-образного. Первый уровень реализуется в нормальных условиях, когда мышление осуществляется с информационной моделью, а язык символов позволяет принимать решения в алгоритмизируемых ситуациях.

При втором уровне мышления, когда обстановка непредсказуема и нельзя прибегнуть к известным алгоритмам, человек вынужден по символической информационной модели строить в сознании развернутый динамический образ реальной обстановки. За каждым символом он видит сложную структуру характеристик, связей и отношений. Общая картина действительности так сложна, что человек не может долго оперировать всеми деталями в уме и поэтому производит свертывание, отбирает необходимое к новой символической модели и по ней принимает решение.

Таким образом, в мышлении последовательно сменяют друг друга процессы свертывания и развертывания концентрированной модели реальной обстановки, когда от знакового уровня совершается переход к динамической, наглядно-образной модели и обратно к знаковой, трансформирующейся с учетом решаемой задачи.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что понимается под моделированием?
2. Как различаются материальные и идеальные модели?
3. Какова роль идеализации в моделировании?
4. Что понимают под «жесткими» и «мягкими» моделями?
5. Какова роль интуиции в мышлении?
6. Поясните, как случай (С) становится случайной подсказкой (на «трамплинной» модели акад. Б.М. Кедрова).
7. Назовите отечественных ученых, изучавших структуру мышления человека?

8. Каково количество стадий мышления по: а) А.Ф. Эсаулову; б) А.Т. Шумилину и А.М. Матюшкину; в) Г.С. Альтшуллеру?
9. Почему при изучении мышления возникает идея многомодельности?
10. Какова специализация полушарий головного мозга человека?
11. Поясните схему формирования математической модели системы с наложенной на неё цепочкой познания по акад. Б.М. Кедрову.
12. Каковы причины появления лингвистической переменной и создания теории нечетких множеств Лотфи Заде?
13. Почему внутренние модели предметов мира строятся человеком каждый раз заново в зависимости от сути задачи?
14. В каких формах протекает мышление, и почему для типов мышления пока нет общепринятых терминов?
15. Каковы два рода понимания, предложенные В.В. Налимовым?

## **ТЕМА 1.4. ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА И РОЛЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ В НЕЙ**

### **1.4.1. Понятие о целенаправленной деятельности человека и её связи с мыследеятельностью**

**Деятельность** – процесс активного взаимодействия субъекта (живого существа) с объектом (окружающей действительностью), во время которого субъект целенаправленно воздействует на объект, удовлетворяя какие-либо свои потребности и достигая цели. Поэтому деятельность (в зависимости от цели) может носить **созидательный или разрушительный** характер. Деятельность регулируется системой ценностей, а управляется мотивационными процессами, в итоге деятельностью можно назвать любую **активность** человека (или организации), которой придаётся некоторый смысл. Отсюда лицо, занятый какой-либо деятельностью называется деятелем: государственный деятель, деятель искусства и политики, военный деятель и т.д.<sup>1</sup> Синонимами к слову «деятельность» являются: труд, дело, работа, занятие, движение и др.

Основоположителем **физиологии активности** является выдающийся отечественный ученый Н.А. Бернштейн (1896–1966). Им заложены основы современной биомеханики движений человека и теории управления движениями, он – классик науки. Его научная деятельность началась в 1922 г. в Центральном институте труда (ЦИТ). В биомеханической лаборатории ЦИТа он занялся разработкой общих основ биомеханики и уже к 1924 г. подготовил к изданию обширный труд «Общая биомеханика». Для него – первого в мировой науке – изучение движений стало способом познания закономерностей работы мозга. На этом пути Н.А. Бернштейном были от-

---

<sup>1</sup> В экономической литературе сегодня часто используется термин актер (от лат. actor – деятель). Это действующий индивидуальный или коллективный субъект (индивид, социальная группа, организация, общность людей, совершающих действия).

крыты такие фундаментальные явления в управлении, как сенсорные коррекции (известные теперь в кибернетике как «обратные связи»).

Вводя в психологию **«принцип активности»**, Бернштейн представлял его суть в постулировании определяющей роли внутренней программы в актах жизнедеятельности организма. В действиях человека есть безусловные рефлексы, когда движение непосредственно вызывается **внешним стимулом**, но это как бы вырожденный случай активности. Во всех же других случаях внешний стимул лишь запускает программу принятия решения, а собственно движение в той или иной степени связано с **внутренней программой человека**. В случае полной зависимости от неё мы имеем дело с так называемыми «произвольными» актами, когда инициатива начала и содержание движения задаются изнутри организма.

Таким образом, под **активностью личности** понимается особая деятельность, отличающаяся интенсификацией своих основных характеристик (целенаправленности, мотивации, осознанности, владения способами и приёмами действий, эмоциональности), а также наличием таких свойств, как инициативность и ситуативность. В **праксиологии** (теории совершенной деятельности<sup>1</sup>) активность личности (субъекта отношений) трактуется как передача сигнала субъекту отношений (объекту воздействия) во взаимозависимости по установлению (восприятию) нормы.

В данном пособии с позиций управления предприятием (организацией) нами рассматривается лишь целенаправленная человеческая деятельность, ведь она – краеугольный камень в жизни людей. Многие известные ученые, в частности, Людвиг фон Мизес, посвятили ей свои труды<sup>2</sup>.

Психологами выделяются следующие виды деятельности: **игровая, познавательная** (включая учебную), **трудовая** (профессиональная), **общения, творческая** (как креативное создание принципиально нового, социально значимого продукта), а также другие (основная, второстепенная, террористическая и проч.). Профессиональная деятельность традиционно рассматривается как вид трудовой деятельности. Это любая сложная деятельность, которая предстает перед человеком как конституированный способ выполнения чего-либо, имеющий нормативно установленный характер. Она объективно сложна, трудна для освоения и требует длительного периода теоретического и практического обучения.

Словосочетание **«профессиональная деятельность»** употребляется в двух вариантах: 1) как обозначение трудовой деятельности, характеризующейся высокими показателями качества и эффективности; 2) как обозначение сложной продуктивной деятельности в рамках профессии.

---

<sup>1</sup> Основателем праксиологии считается польский ученый Т. Котарбинский (см.: Котарбинский, Т. Трактат о хорошей работе. – М.: Экономика, 1975. – 271 с.)

<sup>2</sup> Мизес, Л. Человеческая деятельность. Трактат по экономической теории / Л. Мизес. – М.: Экономика, 2000. – 878 с.

Согласно взглядам В.И. Корогодина<sup>1</sup>, **целенаправленные действия** всегда отличаются от спонтанных изменений наличием активного компонента – актора или оператора. Если обозначить пространство режимов («исходную ситуацию»), где могут идти различные события, буквой  $s$ , а буквой  $Z$  – одно из таких событий (вероятность реализации которого  $0 < p < 1$ ), то спонтанное осуществление  $Z$  описывается преобразованием

$$s \xrightarrow{p} (Z, w), \quad (1.4.1)$$

где  $w$  – другие изменения исходной ситуации, сопутствующие  $Z$ .

Событие  $Z$  назовем «целью». Будем воздействовать на процессы, идущие в  $s$  так, чтобы вероятность осуществления  $Z$  выросла до значения  $P$ . Это и есть «целенаправленное действие». Описать его можно как

$$(R, s) \xrightarrow{P, P} \frac{Q(I)}{P, P} (Z, w), \quad (1.4.2)$$

где  $R$  – ресурсы, содержащиеся в  $s$  и идущие на осуществление действия;  $Q$  – оператор, применение которого в условиях  $s$  приводит к желаемому результату;  $I$  – информация, на основании которой этот оператор построен;  $w$  – события, неизбежно сопутствующие осуществлению  $Z$ , или «побочные продукты» достижения цели.

После этих выкладок, естественно, возникает вопрос о причинах появления названных «побочных продуктов». Для ответа на него достаточно взглянуть на современную цивилизацию. Представление о полностью «чистых производствах» для человечества пока остается мечтой.

Выявление причин этого положения ведет в сферу науки и образования. В первой мы по-прежнему плохо представляем сложнейшую систему связей и закономерностей окружающего мира, а во второй, в процессе передачи научного знания в образовательных системах относительно целостное знание «расчленяется» по специальностям в ходе профессионального обучения. На этот счет есть весьма точное изречение лауреата Нобелевской премии по химии (1956 года) Н.Н. Семенова о том, что «природа ничего не знает о том, как люди разделили её на части при изучении». В результате все человечество осуществляет свою деятельность **в условиях нарастающей информационной неопределенности.**

#### 1.4.2. Мышление как процесс решения задач.

##### Функциональная природа задачных систем и их типология

Согласно одному из первых отечественных словарей по психологии, **мышление** представляет собой «сложнейший вид интеллектуальной дея-

---

<sup>1</sup> Корогодина, В.И. Информация как основа жизни / В.И. Корогодина, В.Л. Корогодина. – Дубна: Издат. центр «Феникс», 2000. – 208 с.

тельности человека, выражающийся в приспособлении к новым условиям, в разрешении новых задач»<sup>1</sup>.

Парадоксально, но исследователи избегают корректного определения понятий «задача» и «проблема». Из словаря в словарь «мигрируют» дефиниции, ничего не дающие уму, например: «задача – вопрос, требующий разрешения», или «проблема – сложный вопрос, требующий разрешения». Отсюда вытекает актуальность анализа типологии задачных систем и поиска путей преодоления разрыва между реальными и учебными задачами<sup>2</sup>.

**Учебные задачи** часто лишены деталей и ориентированы на освоение лишь отдельных приемов в ходе обучения. Они оторваны от жизни по содержанию и форме представления. Обычно эти задачи просты и абстрактны, а потому не обеспечивают положительной мотивации обучающихся в процессе решения. **Реальные задачи** всегда даются на языке конкретных специальностей (в специальных терминах), обладают большой информационной неопределенностью и часто представляя **проблемы** – совокупности задач. По своей сути они отражают «клубки» плохо функционирующих (с точки зрения субъекта-решателя задачи) связей (отношений) в каких-либо системах (табл. 1.4.1).

Таблица 1.4.1

Сравнение учебных и реальных задачных систем

Признак	Учебная задача	Реальная задача
Цель	Освоение приема, конкретного алгоритма	Преодоление реальной жизненной трудности, неприятности (проблемы)
Формулировка	Вид задачи с явным или неявным указанием на искомый ресурс	Ситуация, где неясны не только нужные ресурсы, но и сам характер проблемы
Форма описания	Однозначное (без штампов, задающих психоинерцию), короткое, чтобы решатель «не устал читать»	Изложение задачи путанное и неполное, а часто и отсутствующее в вербальном виде
Сложность	Для решения задачи не надо специальных знаний	Ограничения на используемые области знания отсутствуют
Алгоритмичность	Задача соответствует осваиваемым методам, приемам, алгоритму, хорошо «ложится» на них	Используемый алгоритм или отдельные приемы не имеют никакого значения, важен результат
Характер представления материала	Желателен эмоциональный, даже «шокирующий» для «запуска» интереса и желания решателя	Потребность решения задана внешними факторами. Для успешного решения желательна максимально строгая и сухая формулировка
Характер	«Сильное», интересное, при-	Любое, дающее хороший (или прием-

<sup>1</sup> Варшава, Б.Е. Психологический словарь / Б.Е. Варшава, Л.С. Выготский. – М.: Учпедгиз, 1931. – 206 с.

<sup>2</sup> Лихолетов, В.В. Типология задачных систем и их взаимосвязь в инженерном образовании, инженерном деле и изобретательстве / В.В. Лихолетов // Инженерное образование. – 2019. – Вып. 25. – С. 105–118.

«правильного решения»	влекающее внимание к данному приему или алгоритму	лемый) результат в конкретной ситуации (что не мешает искать лучшее)
Область поиска нужного ресурса	Условие задачи	Все, кроме условия задачи (ведь когда ресурс явно задан в задаче, разрешение ситуации не вызывает затруднений)

**Проблемы (проблемные ситуации)** из-за высокой размерности по отношению к задачам диффузны в информационном смысле. Поэтому функциональная природа задачных систем – ключевой момент их понимания и решения. Как известно, ещё Карл Дункер, наблюдая испытуемых в процессе решения творческих задач в 1920-е годы, обнаружил, что вначале решателю важно найти общий принцип – так называемое **«функциональное решение»** и только потом – конкретное (конструктивное) решение<sup>1</sup>.

За рубежом психологи часто трактуют задачу как некий внешний фактор, детерминирующий активность субъекта. Отечественные ученые развили подход, позволяющий учесть не только внешние, но и внутренние источники активности. По нему **задача** – это совокупность цели субъекта и условий, в которых она должна быть достигнута. Задача рассматривается как ситуация, требующая от субъекта некоего действия, т.е. в определение вводится дополнительно понимание содержания действия, направленного на нахождение неизвестного через использование связей с известным.

Однако определения абстрактны и допускают разную интерпретацию. Полезным моментом в них является присутствие субъекта – решателя задачи (в кибернетике – «решающей системы»). Принципиальными элементами задачи принято называть: 1) **условие**, заданное совокупностью объектов, находящихся относительно друг друга в определенных отношениях; 2) **требование**, определяющее искомый объект в заданных условиях. На наш взгляд, это описание задачи в «застывшем состоянии». Будем далее называть это состояние задачной системы задачей «в статике» (табл. 1.4.2).

Таблица 1.4.2

Описание задачи «в статике»

Элементы задачи	Короткое имя (варианты)	Сущность
Условие (исходное состояние)	«Дано», «Задано», «Имеется»	Состояние, в котором находится система (отнесенная к решателю) и из которого может или должен быть осуществлен её переход в требуемое
Требование (требуемое состояние)	«Надо найти», «Найти», «Требуется»	Состояние системы, обусловленное потребностями субъекта-решателя, социальными нормами, указаниями лиц, обладающими властью или авторитетом

<sup>1</sup> Duncker, K. A qualitative (experimental and theoretical) study of productive thinking (solving of comprehensible problems) // J. genetic psychology, 1926, 33, p. 642–708.

При выделении дополнительно оператора как совокупности тех действий (операций), которые надо произвести над условиями задачи, чтобы выполнить её требования, происходит «оживление задачи». В обобщенном случае у задачи выделяют задачную и решающую системы, причем к первой относятся условия и требования задачи, а во вторую входят конкретные операторы в форме методов, способов и средств решения – источники создания алгоритмов решения задач. Эти операторы задают вектор направленности решения – процедуру перехода (Пр) – от начального состояния (НС) задачной системы к её конечному состоянию (КС). Далее будем называть такую «ожившую» задачную систему задачей «в динамике».

По нашему мнению, задачи – это динамические информационные системы (копии) дефектного функционирования реальных (или виртуальных) систем в сознании решателей. Они «обитают» в человеческих головах или (в снятом знаковом виде) в сборниках кейсов (задачниках и решебниках) в сфере образования, а в инженерном деле – в виде различных технических заданий и других документах при проектировании.

В природе и антропогенном мире идут встречные процессы соединения и разделения. Они отражаются в головах людей (и конкретного решателя). Эти универсальные, противоположно направленные и неразрывно связанные операции в мышлении – анализ и синтез (от греч. *analysis* – разложение, *synthesis* – соединение) выявили ещё древние греки. Решение задачи синтеза предполагает, что известно («Дано») начальное состояние (НС) задачи и посредством процедуры (Пр) надо перейти к её конечному состоянию (КС), т.е. «Найти» его. При решении задачи анализа, наоборот, известно конечное состояние (КС) задачной системы. Оно здесь «Дано», поэтому решение идет «с конца к началу». В обоих случаях люди своей волей направляют мысль в том или ином направлении при решении задач.

Исследования ученых свидетельствуют о непростой взаимосвязи анализа и синтеза. Однако по И. Гёте, «анализ и синтез предполагают друг друга, как вдох и выдох». Научная школа С.Л. Рубинштейна пришла к выводам, что мышление представляет собой «...анализ и синтез, анализ через синтез»<sup>1</sup>. Аналогично выглядит и ряд эволюции анализа в его связи с синтезом в развитии познания у акад. Б.М. Кедрова (см. табл. 1.3.1).

Учебные задачи подразделяются на прямые и обратные. В первых, эквивалентных синтезу, идет отработка обучающимися правил и алгоритмов процедур перехода (Пр) – от НС к КС (табл. 1.4.3). Число решаемых прямых задач обычно значительно превышает число обратных. Видимо, поэтому их и называли прямыми. Обратные задачи, эквивалентные анализу, в обучении относят к задачам повышенной трудности. Творческие задачи при обучении разделяют на исследовательские и конструкторские.

---

<sup>1</sup> Рубинштейн, С.Л. О мышлении и путях его исследования. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1958. – С.98–99.

Таблица 1.4.3

## Эквиваленты задачных систем по направленности мысли

Процессы познания мира в науке	Дидактические задачи в образовании		Задачи в теории-практике изобретательства (ТРИЗ)
	познавательные	творческие	
Анализ	Обратные	Исследовательские	«Измерение («обнаружение»*)
Синтез	Прямые	Конструкторские	«Изменение»

\*Обнаружение предшествует измерению (это качественно-количественный переход)

В теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) эти типы задач получили название «на измерение» и «на изменение»<sup>1</sup>. Измерительные направлены из настоящего в прошлое, а изменительные – из настоящего в будущее (заметим: решатель всегда находится в настоящем времени).

С позиции представлений о **хронотопе** как единстве времени, пространства и действия (активности) человек живет одновременно в трех «цветах» времени: прошедшем, настоящем и будущем. При этом задачу с двумя компонентами – условием («Дано») и требованием («Найти»), как отмечалось, рассматриваем как статическую форму её представления (как фото). В ходе решения задача «оживает» – динамизируется (как кино) при появлении компоненты – «Процедуры» перехода от «Дано» к «Найти». «Процедура» и есть проявление активности человека в хронотопе (здесь уместно вспомнить выражение «мысль как поступок» у М.М. Бахтина).

Создателем ТРИЗ Г.С. Альтшуллером ещё в 1970-е годы была предложена схема талантливое (или многоэкранного мышления) (рис. 1.4.1). Позже для объяснения феномена сильного мышления он использовал не только 9, но и 18 «экранов», переходя от систем к антисистемам.

Нами множество задачных систем представлено в объемном варианте схемы «многоэкранного мышления» – в пространстве трех совмещенных осей-шкал: 1) «Размерность «пространства» – «Иерархия задач»; 2) «Стрела времени» – «Направленность мысли» (при решении задач); 3) «Энтропийность» – «Разнообразие задач по функции».

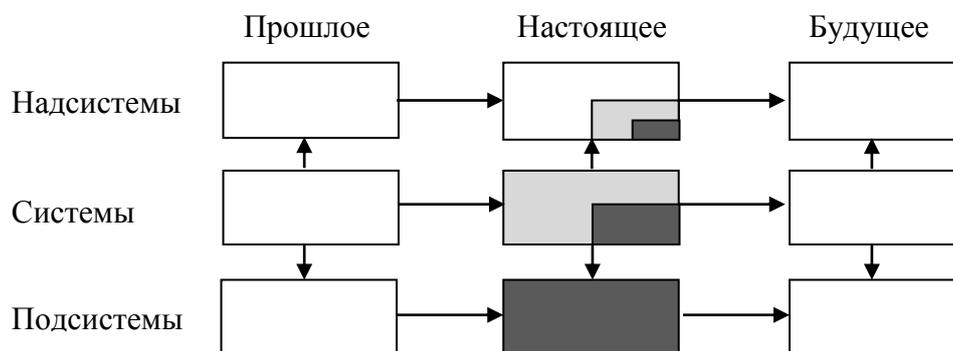


Рис. 1.4.1. Схема талантливое мышления по Г.С. Альтшуллеру

<sup>1</sup> Поиск новых идей: от озарения к технологии / Г.С. Альтшуллер [и др.]. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1989. – С. 99.

В центре первого поля (на уровне системы по вертикальной оси) поместим исходную задачу. Тогда на уровне подсистемы разместятся её части – «Дано» и «Найти»), а на уровне надсистемы – **проблема**. Это отражение классификации задач в статике (рис. 1.4.2).

Динамизация задачных систем идет по оси времени в направлениях мышления: 1) «настоящее-будущее» (проспекция, перспектива, инновационность); 2) «настоящее-прошлое» (ретроспекция, генезис, история). Это отражение классификации задач синтеза и анализа.

Смещаясь на второе поле по оси «Энтропийность» переходим к сходным задачам (с аналогичными функцией и принципом действия, но сдвинутыми характеристиками). На третьем поле в предложенной нами модели «обитают» альтернативные задачи. У альтернативных систем, как известно, одинаковые функции, но разные принципы действия.

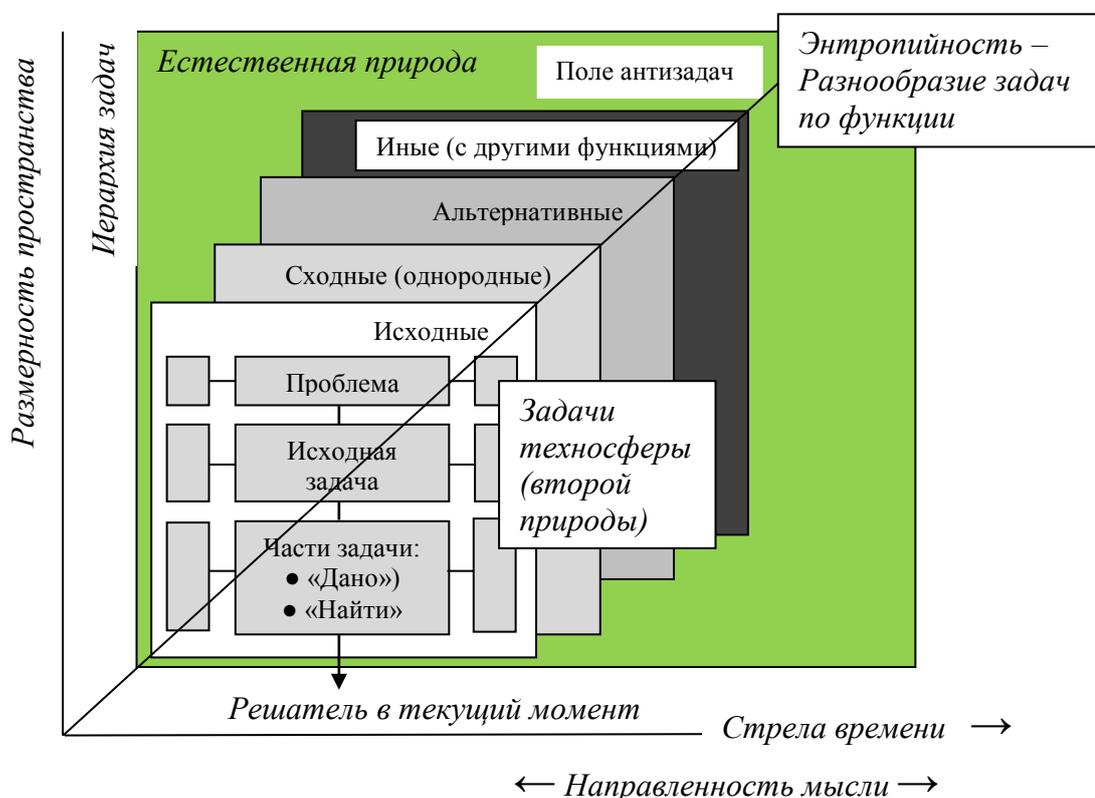


Рис. 1.4.2. Обобщенная модель типологии задачных систем

При движении далее по оси разнообразия попадаем на четвертое поле – поле иных систем (с другими функциями). В этом случае мы уходим от исходной задачи и переходим к задачам, где функции иные (конкуренции нет). Однако при этом наблюдаем своеобразный «разрыв» задачности.

При дальнейшем движении по оси разнообразия задач доходим до противоположности исходной задачи – до антизадачи. Здесь функция является противоположной (противоположно направленной). Однако многовековой

жизнью общества доказано, что переход к антисистеме являет собой парадоксальное, но эффективное решение. Приведем знаменитую фразу «Лучшая защита – нападение», обычно приписываемую Александру Македонскому. Также поясним, что ведем наши рассуждения, находясь со своими мыслями (как решатели) во «второй» – техногенной природе. Антисистема для неё – «первая» – естественная природа. Современный человек настолько окружен объектами «второй» природы, что зачастую почти не видит «первой» природы. Однако именно она – естественная природа и её развитие (энтропийная эволюция) – продолжает «удивлять» людей наводнениями, извержением вулканов и другими стихийными бедствиями.

**Понятие задачи.** Задача определяется нами как информационная копия (модель) функционирования реальной (или идеальной) системы, не соответствующего представлением конкретного решателя о её надлежащем функционировании (нормативным моделям) в текущем времени-пространстве (хронотопе по А.А. Ухтомскому-М.М. Бахтину). Определение учитывает: 1) единство эпистемологической пары «субъект (решатель) – познаваемый объект»; 2) отражает ненадлежащее функционирование – акт движения процессных систем; 3) разделяет оригинал (отражаемую процессную систему) и её интериоризованную копию (модель); 4) учитывает (через решателя) нормативно-аксиологический блок. Последний содержит совокупность моделей общечеловеческих ценностей, закрепленных законами норм взаимодействия элементов социально-экономических систем. Собственно, несовпадение некоего события вне решателя (с его системой ценностей) и вызывает избирательность отражения. Отсюда следует вывод, что **задачи вне человека в полном смысле слова нет**<sup>1</sup>.

Система ценностей, включающая надлежащие модели функционирования, именуется нами (в духе известных подходов к задачам) компонентом «Требуется». Тогда ненадлежащее функционирование отражаемой конкретной системы решателем в текущем хронотопе отображается компонентом «Дано» (рис. 1.4.3).

Рефлексия человеком окружающего мира всегда первична по отношению к деятельности (человек всегда сначала решает задачу обнаружения). Лишь осознав потребности, он идет к целеполаганию и решению задач изменения. Однако надо заметить, что в жизни люди решают задачи не полностью. Часто, например, при ограничении временем, даже не поняв условия задачи, человек уже пробует её решать. Бывает, что человек, не решив задачу до конца, переходит к другой. Поэтому в каждом из нас в текущем времени «живет» некий ансамбль задач (до конца решенных, не полностью решенных, отложенных или замененных на другие). Уровень удовлетво-

---

<sup>1</sup> В природе нет законов, а есть лишь повторяющиеся, устойчивые, необходимые и существенные отношения (связи) процессов и объектов, их свойств. Лишь познанные людьми отношения (связи) люди называют законами (ведь многое ещё не познано!).

ренности, обусловленный эффективностью их решения напрямую отражается на психосоматическом состоянии человека, вызывая вдохновение, равнодушие, подавленность или даже стресс.

В свете приведенных ранее рассуждений ещё раз подчеркнем, что в основе всех проблем (задач) лежат непонятые (или плохо понятые) людьми – решателями задач **функции технологий и конструкций**. Это итог не только несовершенства наших текущих знаний о мире, но также и результат несовершенства процессов их передачи в сфере образования (вплоть до серьезных деформаций, а порой – до полного искажения).

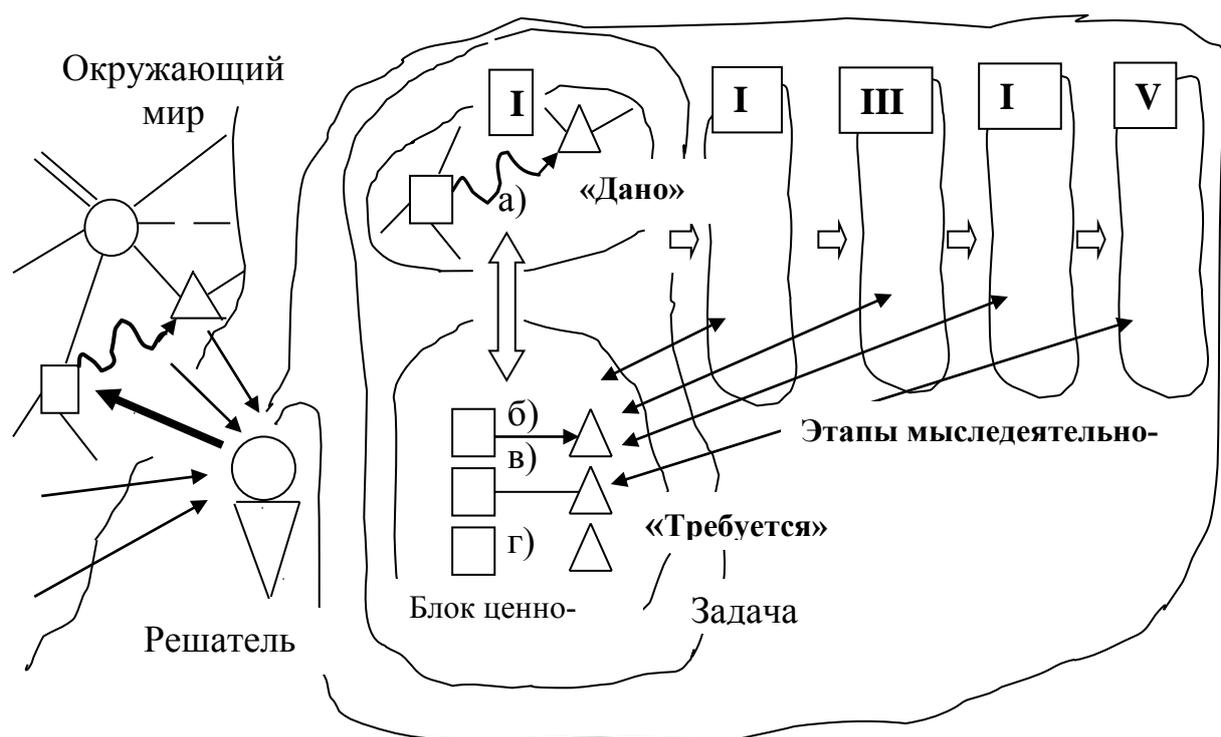


Рис. 1.4.3. Рефлексивная модель взаимодействия Решателя с окружающим системным миром: а – модель нежелательного эффекта (ненадлежащего функционирования системы, отображенной здесь квадратом); б, в, г – модели нормального (нормативного) функционирования этой системы

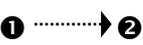
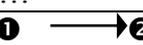
В ТРИЗ одним из центральных понятий является **нежелательный эффект** как отношения между так называемой конфликтующей парой (КП) элементов. Именно он отражает в условии задачи (её компоненте «Дано») недопустимое отклонение от норм с точки зрения субъекта-решателя. Все

нормы и стандарты, с позиции задачных систем, есть ни что иное, как их требование – «Требуется»<sup>1</sup>.

По нашему определению «нежелательный эффект (НЭ) – это отношение двух (или более) систем, не соответствующее представлениям решателя задачи о надлежащем (в соответствии с господствующим в обществе, в т.ч. законодательно закреплённом, нормативном) отношении этих систем». При интериоризации НЭ решателем во внутренний план (мозг человека) и сопоставление там его модели с моделями норм собственно и возникает задача. Поэтому, отражая деятельность людей, **все нежелательные эффекты имеют функциональную природу**. Типология множества НЭ может интерпретировать неким конструктором или генератором моделей неприятностей (табл. 1.4.4).

Таблица 1.4.4

Типология неприятностей как генератор моделей нежелательных эффектов

№	Модель НЭ («Дано»)	Название и сущность	Пример
1		Отсутствие связи систем*	Обрыв телефонной связи
2		Бездействие («вырождение» функции, т.е. $\Phi = 0$ )*	Отсутствие подачи газа в трубопроводе (труба пуста)
3		Недостаточный уровень выполнения полезной функции*	Незавершенное строительство дома, любые недоделки
4		Избыточный уровень выполнения полезной функции*	Превышение допустимой скорости езды на автомобиле
5		Вредное действие (функция)*	Выхлопные газы автомобиля загрязняют воздушную среду
6		Сопряженное с полезным вредное действие*	Лекарство оказывает позитивное и вредное (побочное) действие на организм человека
6.1		Сопряженное с недостаточным полезным вредное действие*	Слабое позитивное воздействие «старого» лекарства сопряженное с его вредным воздействием
7		Вредное противодействие полезному действию*	Полицейский пресекает действия хулигана, а тот оказывает вооруженное сопротивление
7.1	...	Генерация новых моделей**	
7.2	...		
			
* Этот визуальный образ отражает требование задачи («Требуется»), т.е. характеризует нормативно-аксиологический блок решателя («Как должно быть»)			

<sup>1</sup> Человечество всегда жило и поныне живет в мире норм, законов (писанных и неписанных) – от самой Библии, конституций стран и сводов юридических кодексов через стандарты ISO и технические регламенты до моральных норм и правил этикета.

\*\* В процессе генерации из простых моделей решателем составляются более сложные модели НЭ, наиболее адекватно описывающие характер отношений систем в решаемых задачах. При этом надо помнить о принципе бережливости (или экономии), его именуют по имени философа и монаха-францисканца Уильяма Оккама «бритвой Оккама». Сущность принципа: «Не следует множить сущее без необходимости»

Он полезен при обучении для развертывания перед обучающимися сценариев мышления. По нему решатель на первом этапе соотносит наблюдаемое «конфликтное» отношение элементов конфликтующей пара (КП) элементов со шкалой «типовых» НЭ (приведенных в табл. 1.20), распознавая тип неприятности. После этого начинает выявляться причина неприятности, которую называют загадочным словом «**противоречие**».

Дефиниция «противоречие» – «камень преткновения» (на лат. «*petra scandali*») в понимании определенного уровня неприятностей, который относится к **сущности мышления, но не речи**. Ведь противоречие – это формулирование в знании антиномии типа «А и не-А» по отношению к диалектической структуре реального объекта. Хорошо выразился Людвиг Фейербах, заметив, что «...речь – это не мышление, иначе величайшие болтуны должны были быть величайшими мыслителями»<sup>1</sup>.

Отсюда следует вполне логичный вывод, что противоречия существуют лишь в мышлении и оречевленном мышлении. **В природе противоречий нет** (ведь речь принадлежит только людям!), однако есть смещенность свойств систем (вплоть до противоположности, которые «сходятся», образуя целостность). Вся Вселенная «прошита» смещенностями и асимметриями – от барионной асимметрии (А.Д. Сахаров) и функциональной асимметрии мозга (Е. Мониц, Р. Сперри, А.Р. Лурия, В.А. Геодакян и др.) – до асимметрии дуализма языкового знака (С.И. Карцевский). Гаммы этих асимметрий на разных уровнях мироздания, очевидно, и обуславливают непрерывное движение систем в мироздании.

В связи с тем, что в понятии задачи в обобщенном виде мы наблюдаем акт избирательного отражения человеком функционирования реальной (или идеальной) системы, не соответствующий его представлениям о её надлежащем (нормативном) функционировании, можно говорить о задаче как своеобразной **свернутой модели законов развития систем** – некой «клеточки» движущегося целостного мира<sup>2</sup>. С этих позиций (как уже отмечалось) проблема определяется нами как надсистема задачи. Из-за большего объема информации и повышенной неопределенности по отношению к задаче все задачи, естественно, в проблеме не охватываются человеком-решателем из-за ограниченной пропускной способности его со-

---

<sup>1</sup> Фейербах, Л. Сочинения в 3 т. / пер. с нем. – Москва-Петроград: Госиздат, 1923–1926. – Т.1. – 1923. – С. 13.

<sup>2</sup> Лихолетов, В.В. Свернутая модель законов развития систем / В.В. Лихолетов // Педагогика. – 2002. – № 6. – С. 35–40.

знания. При этом у ряда задач границы тают, а другие – от слабых раздражителей – вообще оказываются за пределами внимания человека.

**Мышление человека рассматривается нами как процесс оперирования (решения) задач.** Конечно, в познании мира мышления многое неоднозначно. Согласно Г. Фреге, «постигая или мысля мысль, мы не создаем её, а лишь вступаем с тем, что уже существовало раньше, в определенные отношения, которые отличаются и от зрительного восприятия вещи, и от обладания представлением»<sup>1</sup>. Получается, что мысли не создаются человеком в процессе мышления. Они существуют вне времени и лишь постигаются человеком. Постижение мысли предполагает существование того, кто её постигает – того, кто мыслит. Человек, таким образом, является носителем мышления, но не мысли. Согласно А.Н. Луку, мысль начинается с восприятия, а заканчивается действием. При этом центральное звено любой мыслительной деятельности – **принятие решения**. Если текущие восприятия совпадают с содержанием памяти, то неопределенности нет, проблемной ситуации не возникает. **А где нет выбора – там нет и мышления.** Ведь ещё Блаженный Августин (354–430 гг. н.э.) обратил внимание, что слово *intellego* на латыни означает «выбираю между»<sup>2</sup>.

**Мысль** – действие ума (рассудка) есть конечный или промежуточный результат мышления. Мысль есть начало всех начал. Психологи уверяют, что **мысль рождается из задачи**, которую ставят человеку внешние обстоятельства или внутренние побуждения. О важности мышления свидетельствует то, что в Индии наука о развитии ума называется «раджа-йога» («раджа», в переводе, означает «королевская», а «йога» – «дисциплина»).

Буддолог Л.Э. Мялль<sup>3</sup> при анализе понятия «карма» пришел к выводу, что она есть текст, порождающий при его прочтении новые тексты. Причем карма существует лишь для конкретного человека. В любой карме заключены бесчисленные тексты для каждого, а её прочтение – это личный выбор своего бытия из великого множества возможных смыслов. Чтобы быть источником бесчисленных прочтений, текст кармы должен быть «пустым». Не случайно слово «шуньята», обозначающая в буддизме пустоту, одновременно обозначает неисчислимость и бесконечность.

**Информационная неопределенность задач** обусловлена самим характером отражения человеком движущегося мира, где идут навстречу друг другу **энтропийная** (природная) и **негэнтропийная** (антропогенная) эво-

---

<sup>1</sup> Фреге, Г. Мысль: логическое исследование / Г.Фреге // Философия, логика, язык; общ. Ред. Д.П. Горского и В.В. Петрова. – М.: Прогресс, 1987. – С. 35.

<sup>2</sup> Лук, А.Н. Мышление и творчество / А.Н. Лук. – М.: Политиздат, 1976. – С. 20.

<sup>3</sup> Мялль, Л.Э. «Аштасахасрика праджняпарамита» как исторический источник: дис. ... канд. истор. наук / Л.Э. Мялль. – Тарту: ТГУ, 1984. – 181 с.

люции<sup>1</sup>. Каждый человек-решатель получает свою копию, причем в известной мере искаженную (индивидуально окрашенную) по отношению к оригиналу. Решение задачи в ходе мыследеятельности – это процесс (динамическая система), поэтому в процессе интериоризации<sup>2</sup> информация претерпевает изменения вплоть до разрушения. Отсюда вытекает, что **решение задачи – это всегда переход от некой информационной неопределенности к определенности (конкретике).**

### Вопросы для самопроверки

1. Что понимается под деятельностью человека и кто из ученых ввел в психологию понятие «принцип активности»?
2. Как сказываются на активности внешние и внутренние стимулы?
3. Что понимается под термином «праксеология»?
4. Назовите основные виды человеческой деятельности.
5. Что понимается под целенаправленным действием? Как выглядит короткая запись целенаправленного действия по В.И. Корогодину и каков её смысл?
6. Почему человечество вынуждено осуществлять свою деятельность в условиях нарастающей неопределенности?
7. Как связано мышление человека с задачами (задачными системами)?
8. Поясните, чем учебные задачи отличаются от реальных (производственных) задач?
9. Как соотносятся между собой задачи и проблемы (проблемные ситуации) и что понимал К. Дункер под «функциональным решением» задач?
10. Что понимается под описанием задачи «в статике» и чем задача «в динамике» отличается от задачи «в статике»?
11. Что такое «анализ» и «синтез» и как они взаимодействуют в процессе мышления человека?
12. Расскажите об эквивалентах задачных систем в сфере образования, практической деятельности и изобретательстве (в ТРИЗ).
13. Что скрывается под термином «хронотоп» и как выглядит схема многоэкранного мышления, предложенная Г.С. Альтшуллером в ТРИЗ?
14. Поясните сущность выбора системы координат и принципы построения обобщенной модели типологии задачных систем.
15. Поясните, как в обобщенной модели задачных систем взаимодействуют различные задачи: сходные, альтернативные, иные (разнородные) и антизадачи.

---

<sup>1</sup> Энтропия – мера хаоса, а неэнтропия – порядка, причем понятие порядка вводит человек. Человек понимает как хаос то, что является порядком природы (извержение вулкана, наводнение и проч.)

<sup>2</sup> Интериоризация – формирование внутренних структур человеческой психики посредством усвоения внешней социальной деятельности, присвоения жизненного опыта.

16. Дайте определение задаче как информационной модели и поясните, почему задачи вне человека в полном смысле нет.

17. Почему рефлексия человеком окружающего мира всегда первична по отношению к его деятельности.

18. Что понимается под нежелательным эффектом (НЭ) и почему все НЭ имеют функциональную природу?

19. Приведите примеры типовых НЭ и поясните, зачем при моделировании проблемных ситуаций важно использовать принцип «бритвы Оккама».

20. Поясните, что понимается под противоречием и почему в реальном мире (природе) их нет, а есть смещенность свойств объектов (вплоть до противоположностей).

21. Почему центральным звеном любой мыслительной деятельности является принятие решения?

22. Как в Индии называют науку о развитии ума и что отечественные буддологи говорят о карме?

23. Взаимодействием каких эволюционных процессов обусловлена информационная неопределенность всех задачных систем?

## **ТЕМА 1.5. УПРАВЛЕНЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ**

### **1.5.1. Понятие об управленческом решении и общей модели его принятия в процессе управления**

Модели принятия решений должны содержать основные элементы самого процесса, такие как цель, альтернативы, состояние внешней среды, временной аспект. Классификация моделей принятия решений строится на основе проявления вышеназванных элементов модели. Наглядным способом структурирования и представления проблем принятия решений при неопределенных ожиданиях является общая модель теории принятия решений<sup>1</sup>. Существенными элементами этой модели являются матрица результатов (табл. 1.5.1) и целевая функция.

В матрице результатов в подлежащем представлены оцениваемые альтернативы действий ( $A_1, A_2, \dots, A_n$ ), а в сказуемом – состояния внешней среды ( $S_1, S_2, \dots, S_m$ ), которые ЛПР рассматривает как возможные, причем каждому из них в соответствие ставятся показатели вероятности наступления этого состояния ( $w(S_1), \dots, w(S_m)$ ). Элементами матрицы являются результаты, причем  $E_{as}$  ( $a = 1, 2, \dots, n; s = 1, 2, \dots, m$ ) означает результат, ко-

---

<sup>1</sup> Трофимова, Л.А. Методы принятия управленческих решений: учебное пособие / Л.А. Трофимова, В.В. Трофимов. – СПб. : Изд-во СПбГУЭФ, 2012. – 101 с.

торый будет достигнут, если будет выбрана альтернатива  $A_a$  и наступит состояние внешней среды  $S_s$ .

Таблица 1.5.1

Вид матрицы результатов

	$w(S_1)$	$w(S_2)$	...	$w(S_s)$
	$S_1$	$S_2$	...	$S_s$
$A_1$	$E_{11}$	$E_{12}$	...	$E_{1s}$
$A_2$	$E_{21}$	$E_{22}$	...	$E_{2s}$
...	...	...	...	...
$A_a$	$E_{a1}$	$E_{a2}$	...	$E_{as}$

В модели принятия решений более или менее точно должны быть представлены следующие элементы: 1) альтернативы действий (AA); 2) результаты ( $E_{as}$ ); 3) состояние внешней среды (с учетом вероятности её воздействия на результаты решения) ( $SS, w(S_s)$ ); 4) целевая функция ЛПР ( $Z, F$ ).

Организационные мероприятия, направленные на управление процессом принятия решений, осуществляются вышестоящим подразделением путем воздействия на определенные детерминанты решения. Различают первичные и вторичные детерминанты (факторы) принятия решения.

При составлении перечня первичных детерминант основываются непосредственно на элементах модели принятия решений. Первичные детерминанты (факторы) решения представлены на рис. 1.5.1.

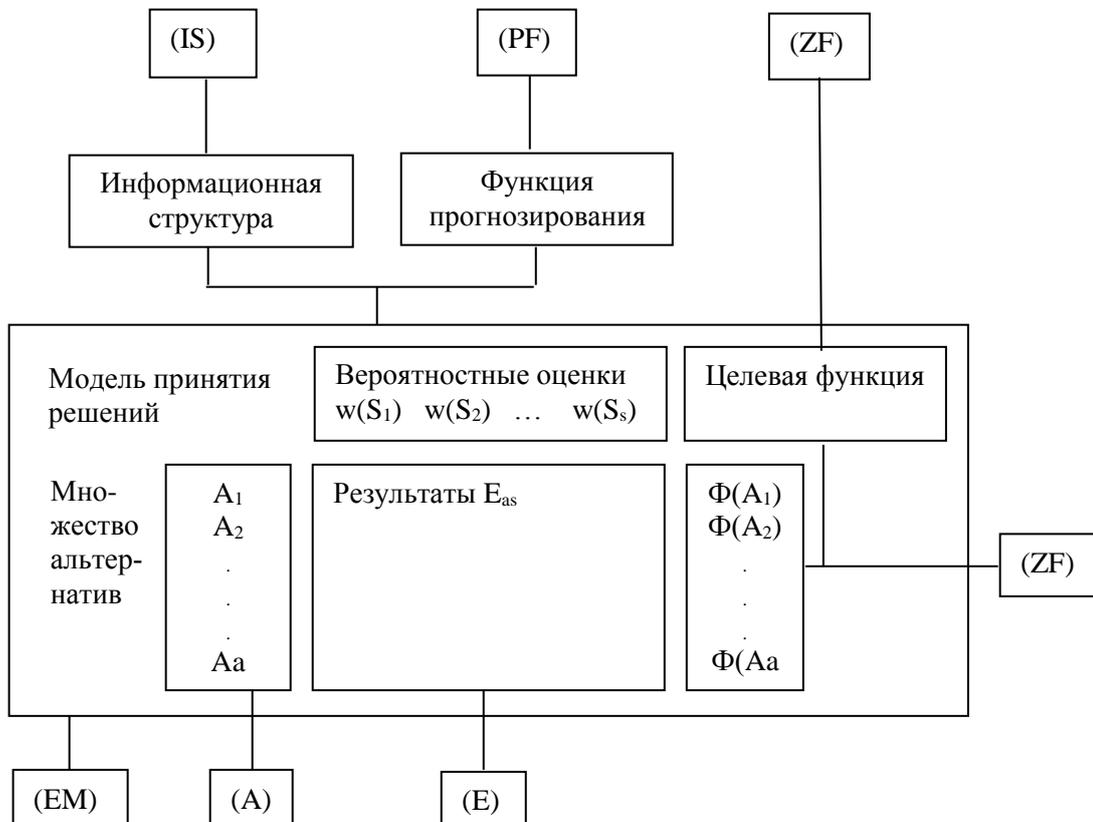
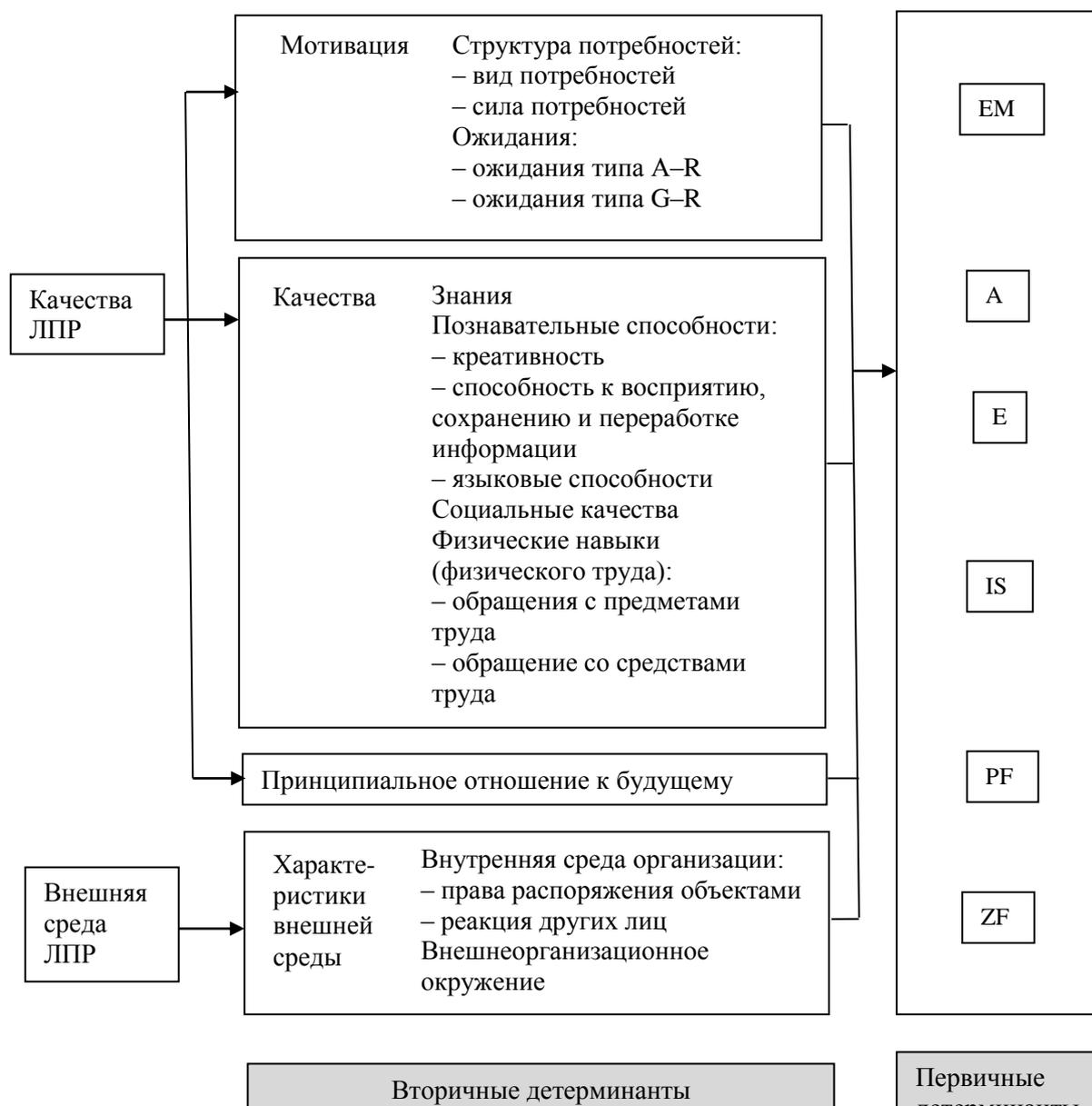


Рис. 1.5.1. Первичные детерминанты решения

Поведение ЛПП в ситуации выбора зависит: от типа модели (EM); от количества альтернатив, которые охвачены моделью (Aa); от целевых показателей (величин), в соответствии с которыми оцениваются альтернативы (Eas); от показателей вероятности, поставленных в модели в соответствии наступлению определенных состояний внешней среды (w(SS)); от его целевой функции (ZF); от функции прогнозирования ЛПП (PF); от информационной структуры ЛПП (IS). Функция прогнозирования ЛПП (PF) характеризует вероятности, которые он ставит в соответствие состояниям внешней среды при альтернативных информационных структурах (IS); она показывает, каким образом информация трансформируется в (субъективную) вероятностную оценку. Детерминанта решения «вероятностная оценка наступления состояний внешней среды» (w(SS)) в свою очередь определяется детерминантами «информационная структура» (IS) и «функция прогнозирования» (PF).

Вторичные детерминанты решения представлены на рис. 1.5.2. Первая группа вторичных детерминант характеризует (субъективные) качества ЛПП, вторая описывает объективные ограничения внешней среды, в рамках которой действует ЛПП.



### Рис. 1.5.2. Вторичные детерминанты решений

Степень мотивации индивидуума к определенному поведению, направленному на достижение результатов, например, поиск альтернатив, конструирование и решение конкретной модели принятия решений, определяется: структурой его потребностей и его ожиданиями по поводу возможности подобного поведения способствовать удовлетворению его потребностей. Структура потребностей характеризуется видами отдельных потребностей, например, потребности в материальных благах, социальных контактах, признании и власти и «силой» этих потребностей.

Мотивация индивидуума зависит также от оценки им собственной квалификации, принципиального отношения к будущему и состояния внешней среды. Эти детерминанты могут воздействовать как на структуру потребностей, так и на структуру ожиданий результатов.

Квалификация характеризуется вторичными детерминантами «знания», «познавательные способности», «социальные навыки» и «физические навыки». Хотя знания и навыки ЛПР влияют на его мотивацию, целесообразным представляется рассматривать их как вторичные детерминанты. Даже если два индивида обладают одинаковой степенью мотивации, они могут принять различные решения вследствие различий в их умении получать и обрабатывать информацию. Знания особенно ярко характеризуются знанием фактов, теорий (отношений типа «если ..., то ...») и моделей принятия решений. Познавательные способности характеризуются прежде всего креативностью и умением собирать, накапливать и логически последовательно обрабатывать информацию. Под социальными навыками понимаются, например, умение выражать свои чувства, мотивировать сотрудников и руководить ими, участвовать в кооперации, завоевывать симпатию. Физические навыки характеризуются умением работать с предметами и средствами труда.

Что касается принципиального отношения к будущему, то в зависимости от того, является ли это отношение оптимистичным или пессимистичным, будут различаться вероятностные оценки последствий оцениваемых альтернатив, которые ЛПР делает на базе имеющейся информации.

Ключевая проблема организации состоит в том, чтобы таким образом управлять взаимосвязанными объектными, организационными и коммуникационными решениями сотрудников, чтобы достигнуть цели организа-

ции. Мотивация ЛПП, как правило, оказывает воздействие не только на его целевую функцию, но и на значения всех первичных детерминант решения. Как правило, повышение уровня мотивации, направленной на выполнение работы, приводит к новым качествам управленческого решения.

### **1.5.2. Классификация управленческих решений, формы их разработки и реализации**

Управленческие решения классифицируют в основном по следующим признакам. По степени **влияния на будущее организации** (1), иначе – по времени действия): стратегические, тактические и оперативные. Стратегические определяют основные пути развития, и тактические указывают способы продвижения по этим путям. Принятие стратегических решений – прерогатива высшего, а тактических – низших уровней управления. По **временным параметрам** (2) решения могут быть перспективными, т.е. ориентированными на будущее, и текущими.

Управленческие решения имеют различные **сроки реализации** (3). В соответствии с этим параметром решения могут быть долгосрочными (срок реализации более 5 лет<sup>1</sup>), имеющими прогнозный характер; среднесрочными (от 1 года до 5 лет) и краткосрочными (менее 1 года). Краткосрочные решения принимаются, как правило, без предварительной подготовки. Чем длительнее срок, на который решение принимается, тем решение менее выполнимо, для коротких сроков вероятность осуществления решения выше.

По **функциональной направленности** (4) решения подразделяются на: планирующие, организующие, активизирующие, координирующие, контролирующие, информирующие. Организационные принимаются руководителем организации в рамках выполнения своих должностных обязанностей, регулирующие предписывают способы осуществления действий в конкретных ситуациях и фиксирующие их в разного рода инструкциях, регламентах и т. д.; координирующие носят оперативный характер, согласующие различные процессы в организации; контролирующие служат для оценки и внесения корректив в действия подчиненных.

По **степени обязательности исполнения** (5) решения могут быть директивными и рекомендательными. Первые из них, по поводу наиболее важных для организации проблем, решаемых в настоящий момент или в ближайшем будущем, принимаются высшими уровнями управления. Эти решения обязательны для исполнения. Рекомендательные решения вырабатываются различными совещательными органами – комитетами или комиссиями. Их исполнение желательно, но не обязательно.

---

<sup>1</sup> Согласно закону «О стратегическом планировании в Российской Федерации от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ среднесрочным периодом определен диапазон 3–6 лет, а долгосрочным – более 6 лет.

По способу **организации** (6) решения бывают: индивидуальные и коллективные: групповые (коллегиальные) и корпоративные. В зависимости от количества участников, задействованных в разработке управленческого решения, решения могут быть единоличными, если их принимает один человек, и коллективными, если в их разработке участвуют ещё и другие члены организации. Коллективные решения делятся на **консультативные**, предполагающие, что тот, кто принимает решения, советуется с подчиненными или экспертами; **совместные**, принимаемые в результате взаимного согласия участников на основе консенсуса при его подготовке, и **парламентские**, основанные на том, что все причастные к нему лица выражают с ним свое согласие.

По основаниям **причины** (7) решения бывают: ситуационные, по предписанию, программные, инициативные, сезонные.

По степени **предопределенности** (8) управленческие решения делятся на запрограммированные, связанные со стандартными, повторяющимися ситуациями, и незапрограммированные, которые принимаются в неординарных обстоятельствах и требуют индивидуального подхода.

Все управленческие решения разрабатываются в разном количестве вариантов. По **количеству альтернативных вариантов** (9) они делятся на безальтернативные (с одним выходом); бинарные, предполагающие два варианта; многовариантные, подразумевающие несколько приблизительно одинаковых альтернативных вариантов; инновационные, когда части отклоненных в прошлом решений комбинируются искусственно и подбираются не противоречащие друг другу характеристики.

По основанию **повторяемости выполнения** (10) решения подразделяются на: однотипные, разнотипные и инновационные (нет альтернатив).

По **масштабам воздействия** (11) решения бывают общие и частные. Глобальные решения могут затрагивать организацию в целом, а локальные касаться какой-либо стороны деятельности организации.

По **прогнозируемым результатам** (12) решения делят на 2 типа: с определенным результатом, с вероятностным исходом.

По основанию **характера разработки и реализации** (13) есть решения: уравновешенные, импульсивные, инертные, рискованные, осторожные.

По **методам переработки информации** (14) решения подразделяют на: алгоритмические и эвристические.

В зависимости от **числа критериев** (15) решения бывают: однокритериальные и многокритериальные.

По **направлению воздействия** (16) решения бывают: внутренние и внешние, а по **глубине воздействия** (17) решения бывают: одноуровневые и многоуровневые.

По основанию **ограничений на ресурсы** (18) есть решения с ограничениями и без ограничений, а по **способу фиксации** (19) решения подразделяются на письменные и устные.

По базовым **способам принятия** (20) управленческие решения классифицируются на интуитивные, основанные на суждениях и рациональные.

В зависимости от условий **разработки и реализации** управленческие решения могут использоваться различные **формы разработки**: В их числе:

**Указ** – решение главы государства, утвержденное парламентом (например, Указ Президента РФ, утвержденный Госдумой РФ; указ имеет силу закона).

**Указание** – решение, носящее методический, технологический характер. Указание реализуется в форме наставления или разъяснения.

**Закон** – решение высшей государственной власти, носящее общеобязательный и непреложный характер (например, Конституция страны, Закон об акционерных обществах).

**Акт** – решение широкого круга государственных и общественных организаций. Например, акт о передаче чего-либо в собственность. Акт может быть международным.

**Приказ** (письменный или устный) – это решение руководителя, облеченного властью в организации или крупном её подразделении.

Другими общеизвестными и распространенными **формами** управленческих решений являются следующие:

- распоряжение;
- протокол;
- инструкция;
- договор;
- соглашение;
- план;
- контракт и проч.

Управленческие решения могут быть **реализованы** в следующих основных **формах**:

- предписание;
- деловая беседа;
- убеждение;
- разъяснение;
- принуждение;
- наставление;
- сообщение;
- личный пример;
- обучение;
- совет;
- деловая игра;
- совещания (заседания).

В управлении ведущую роль имеет **деловое слово** – твердое решение руководителя, данное подчиненному в устной форме, подкрепленное авто-

ритетом руководителя, как среди подчиненных, так и среди вышестоящего руководства.

### 1.5.3. Понятие качества управленческого решения

Под качеством управленческого решения понимается совокупность свойств, обеспечивающих успешное его выполнение и получение необходимого эффекта. Качество управленческих решений – главный инструмент обеспечения эффективности бизнеса. Именно поэтому, особенно в условиях рынка, к решениям в сфере управления предприятием разработан ряд требований, которые можно назвать «**признаками хорошего решения**».

1. Решение должно иметь ясную **цель**.

2. **Обоснованность решения** не должна вызывать сомнения у исполнителей. Исполнители должны представлять – почему нужно делать так, а не иначе.

3. **Своевременность**. Решения должны приниматься в срок.

4. **Конструктивность**. Любое управленческое решение не может полностью соответствовать ранее принятой в этой области практике, из-за быстрых изменений внешней и внутренней среды предприятия. Поэтому в каждом решении должен присутствовать инновационный подход.

5. **Непротиворечивость**. Управленческое решение должно быть точным, исключать разночтения.

6. **Конкретность**. Решение должно иметь адресата и сроки исполнения, т.е. ориентацию на конкретных исполнителей и конкретные даты исполнения решений, обладать достаточной полнотой, краткостью.

7. **Реализуемость (выполнимость)**. Любое, даже самое хорошее, обоснованное, своевременное, обладающее всевозможными достоинствами решение будет бесполезно без реализуемости.

8. **Правомочность**. Решение должно опираться на требования правовых актов, нормативных документов, указаний и распоряжений руководителей, а также учитывать обязанности и права руководства и подчиненных.

9. Решение должно сочетать **жесткость и гибкость**.

10. **Компромиссность**. На практике редко бывает так, чтобы решения, особенно сложной проблемы, не имели бы отрицательных последствий. Поэтому почти все управленческие решения основаны на компромиссе между положительными и отрицательными результатами.

11. Решение должно быть **эффективным**, т.е. оно должно наиболее полно обеспечивать достижение поставленных организацией целей, и **экономичным**, т.е. обеспечивать достижение поставленной цели с наименьшими затратами.

#### Вопросы для самопроверки

1. В чем смысл общей модели принятия управленческих решений в процессе управления?

2. Как выглядит матрица результатов?
3. Назовите основные элементы модели принятия решений.
4. Поясните, что относится к первичным, а что – к вторичным детерминантам решения?
5. Как классифицируются управленческие решения по степени влияния на будущее организации?
6. Какие могут быть управленческие решения в зависимости от сроков реализации?
7. Как различаются управленческие решения по степени обязательности исполнения?
8. Приведите классификацию управленческих решений по функциональному назначению.
9. Как классифицируются управленческие решения в зависимости от количества участников-разработчиков?
10. Перечислите способы принятия управленческих решений.
11. Назовите основные формы разработки управленческих решений.
12. Поясните, в каких формах реализуются управленческие решения?
13. Что понимается под качеством управленческого решения?
14. Перечислите признаки «хорошего решения» и поясните их.

## **ТЕМА 1.6. ОСНОВНЫЕ ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

### **1.6.1. Типология методов принятия управленческих решений**

Можно классифицировать методы обоснования управленческих решений при формировании экономической политики, выстраивая их блоки в системной последовательности принятия решений.

1. **Методы диагностики проблем.** К этому блоку относятся методы: сравнений, факторного анализа, моделирования и прогнозирования.

2. **Методы генерации альтернатив.** Сюда входят подсистемы методов активизации мышления (в составе мозгового штурма, каталога и фокальных объектов, синектики, Дельфи, а также ряд других эвристических методов) и соединения альтернатив (в составе морфологического анализа, метода сценариев, деревьев решений, анализа иерархий). Особое место в ряду этих методов занимает развитый инструментарий ТРИЗ, «слившийся» с инструментарием функционально-стоимостного анализа (ФСА).

3. **Методы оценки и выработки альтернатив.** Здесь речь идет о методах экспертных оценок и критериальных методах (однокритериальных и многокритериальных)

4. **Методы реализации решений.** Здесь располагаются методы планирования, организации и контроля.

Прежде чем что-то решать, важно понять ситуацию. Диагностика проблем – это анализ основных причинно-следственных связей конкретной

ситуации. Существует два способа рассмотрения проблемы: во-первых, проблемой считается ситуация, когда поставленные цели не достигнуты; а, во-вторых, проблемой считают ситуацию потенциальной возможности (что-то должно было произойти, но не произошло). При этом под ситуацией понимается реальное положение дел (состояние объекта управления) относительно поставленной цели.

Диагноз проблемы выполняется в несколько этапов: 1) осознание и установление симптомов затруднений или имеющихся возможностей (под симптомом понимается степень проявления проблемы и её последствий); 2) сбор, анализ внешней (относительно организации) и внутренней информации; 3) выделение релевантной (относящейся к делу) информации – выделение данных, относящихся к проблеме, цели и периоду времени; 4) выявление причин возникновения проблемы и анализ основной причины; 5) анализ проблемы (результат этапа – выяснение типа проблемы).

Питер Ф. Друкер выделяет **четыре типа проблем**: 1) типичные; 2) типичные по сути, но уникальные для данной организации; 3) уникальные; 4) новые типичные проблемы. Типовые проблемы решаются с помощью запрограммированных решений, т.е. с использованием известных правил или принципов к конкретной ситуации (стандартно). Уникальные проблемы нуждаются в принятии незапрограммированных решений (здесь целесообразно использовать инструментарий ТРИЗ).

### **1.6.2. Распространенные методы диагностики проблем**

Среди основных методов анализа проблем большое значение имеют **графические методы**. Это совсем не случайно. Огромную долю информации об окружающем мире человек воспринимает посредством визуального канала. Согласно исследованиям, до 87% информации поступает в мозг человека через зрительные рецепторы, 9% – через слуховые и лишь 4% – через другие органы чувств.

Известны слова Л.Н. Толстого, что «глаза – это зеркало человеческой души». Отобразив что-либо на бумаге или другом носителе, человек, по сути, выносит свои размышления во внешний план.

Именно поэтому в процессах разработки и принятия решений широко используются построения: «деревьев проблем», «деревьев целей и задач», «деревьев решений», структурных диаграмм типа «рыбий скелет» или, по-английски, «fish bone» Каору Исикавы<sup>1</sup>), Mind Maps или интеллект-карт (карт ума, или карт сознания) Тони Бьюзена как способ представления и связывания мыслей.

К настоящему времени даже сформулирован ряд правил в сфере интеллект-карт (их подразделяют на 2 группы закономерностей: 1) структуры; 2) содержания и оформления (табл. 1.6.1).

---

<sup>1</sup> Ishikawa K. Guide to Quality Control. – Quality Resources, 1990. – 225 p.

При рисовании карт мышления обычно опираются на следующие **принципы**: 1) все происходит от мысли, ведь каждая мысль – потенциальная идея; 2) каждая мысль – это слово, а каждое слово – потенциальная идея; 3) каждое изображение также потенциальная идея; 4) хорошие идеи прибывают, когда уходят плохие мысли; 5) чтобы уловить свежую мысль, не надо слишком напряженно думать; 6) терпение даёт время для развития идей; 7) банальные мысли порождают банальные идеи; 8) расслабьтесь – и ваши мысли потекут легко и свободно.

Таблица 1.6.1

Правила-рекомендации в сфере интеллект-карт

№	Группа	Рекомендации
1	Структуры	Соблюдайте иерархию мыслей Используйте номерную последовательность в изложении мыслей
2	Содержания и оформления	Ассоциируйте и используйте эмфазу <sup>1</sup> Всегда используйте центральный образ, чаще используйте графические образы. Для центрального образа используйте три и более цветов Чаще придавайте изображению объем, используйте выпуклые буквы Пользуйтесь синестезией <sup>2</sup> (комбинированием всех видов эмоционально-чувственного восприятия). Варьируйте размеры букв, толщину линий и масштаб графики. Оптимально размещайте элементы на карте. Используйте стрелки, если надо показать связи элементов карты. Используйте цвета. Используйте кодирование информации. Стремитесь к ясности в выражении мыслей. Есть принцип: по одному ключевому слову на каждую линию. Используйте печатные буквы. Размещайте ключевые слова над соответствующими линиями. Следите, чтобы длина линии равнялась длине ключевого слова. Соединяйте линии с другими линиями и следите за тем, чтобы главные ветви карты соединялись с центральным образом. Делайте главные линии плавными и более жирными. Отграничивайте блоки важной информации с помощью линий. Следите за тем, чтобы рисунки были предельно ясными. Старайтесь располагать слова горизонтально. Выработывайте собственный стиль

Интеллект-карты обладают рядом полезных свойств (табл. 1.6.2).

Таблица 1.6.2

Полезные свойства Mind Maps

№	Свойства	Комментарий
1	2	3

<sup>1</sup> Эмфаза (эмфаз, эмфазис) – от греч. означает «выразительность».

<sup>2</sup> Синестезия (от греч. – «вместе» и «ощущение») – нейрологический феномен, при котором раздражение в одной сенсорной (когнитивной системе) ведет к автоматическому, произвольному отклику в другой сенсорной системе.

1	Наглядность	Как древовидная структура – это аналог многоуровневого линейного списка типа оглавления. Но есть отличия: а) Mind Map позволяет окинуть взглядом всё дерево (у списка этого нет); б) линейный список психологически не завершён и может быть продолжен (можно дописать – в конец, да и в середину). Mind Map как рисунок ограничен размерами листа, поэтому выбирают существенное
---	-------------	---

1	2	3
2	Эстетичность	Mind Map – рисунок, имеющий эстетику (если он как рисунок неприятен, то бесполезен и даже вреден). Тони Бьюзен специально подчёркивал, что при рисовании карт существенно включается в работу правое полушарие мозга, отвечающее за эстетику и холизм. Рисуя карту по проблеме, мы обдумываем её другой частью мозга (всегда полезно рассмотреть проблему с разных сторон)
3	Формы	Рисование карты идет одновременно с осмыслением проблемы – оно и есть осмысление. Осмысление есть процесс – карта растёт, как куст – без жёсткого плана, просто заполняя пространство. Такое развитие рисунка существенно отличает его от чертежей. Есть ряд типовых форм Mind Map, каждая из которых легко переходит в следующую: 1) диагональный крест (Андреевский флаг) – 4 луча; 2) звезда – 5 лучей; 3) снежинка – 6 лучей; 4) британский флаг – 8 лучей; 5) нейрон – неопределённое число лучей. В построении карт хорошо проявляется известный психологический закон $7 \pm 2$ , который описывает число понятий, которыми может одновременно оперировать мозг человека.
4	Однородность ветвей	Важное свойство (и ограничение) – все ветви карт однородны. Нет разных обозначений для разных сущностей – на одной ветви могут «висеть» килограммы, на другой – метры. Это накладывает ограничение на характер информации. Попытаться описать бизнес-процесс с помощью Mind Map бесполезно, лучше использовать специализированные нотации типа IDEF0. На Mind Map хорошо ложится первозданный хаос при первичном анализе или что-то, состоящее из однородных элементов – план текста или выступления. Обозначаем темы, мысли, примеры – и пишем (выступаем). Обозримость карты позволяет легко переходить от одной части к другой, не теряя целого

Наглядный пример построения карты мышления приведен на рис. 1.6.1. Есть и другие топологические построения, способствующие пониманию проблемной ситуации и проведению диагностических процедур.

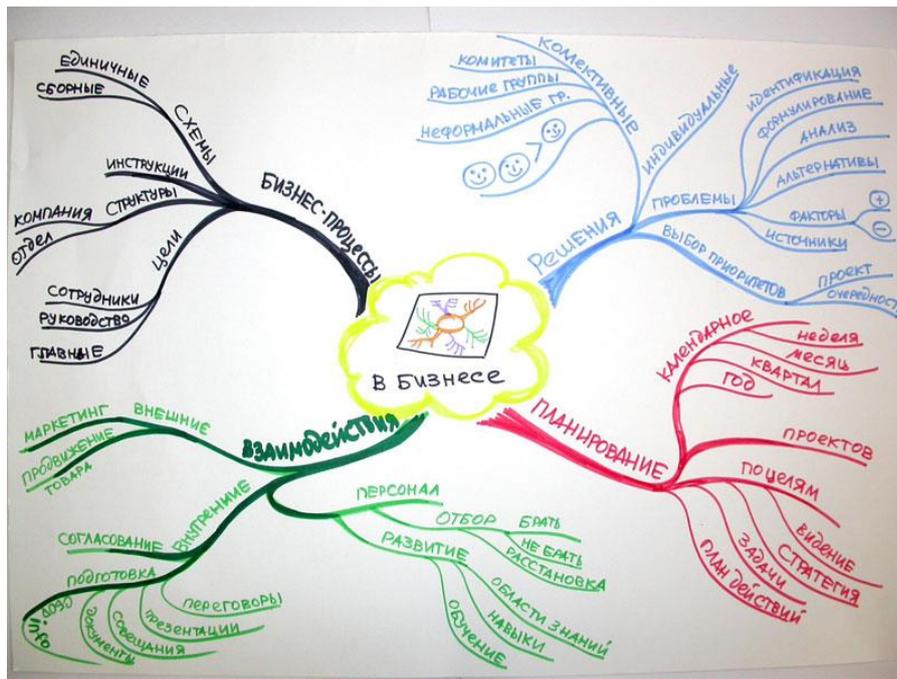


Рис. 1.6.1. Пример построения карты мышления

Так, например, диаграмма Исикавы (или причинно-следственная диаграмма) была предложена профессором Токийского университета Исикавой Каору ещё в 1953 г. для целей создания систем качества. Она выглядит следующим образом (рис. 1.6.2).



Рис. 1.6.2. Вид диаграммы Исикавы

В данной диаграмме к главной кости – «хребту», определяющей качество процесса (или объекта) подходят боковые кости (ребра), монтирую-

щие целостный скелет процесса (или объекта). Это напоминает речную сеть, где ручейки и малые реки стекаются в большую реку. Безусловно, влияние множества боковых притоков рек на чистоту (качество) воды в главной реке может быть двояким. Если чистые притоки улучшают качество воды в ней, то грязные, наоборот, – ухудшают, т.е. здесь важно анализировать (диагностировать) как положительной, так и отрицательное влияние притоков как факторов, обеспечивающих чистоту воды.

Предложенный метод построения **причинно-следственной сети (ПСС)** из одних **лишь неприятностей** (или нежелательных эффектов – НЭ) не смешивает положительно и отрицательно влияющие на конечный результат факторы. В нем используются только неприятности («пакости»).

ПСС из НЭ может быть построена в табличном или графическом виде. Для этого надо иметь элементарные знания из теории графов. Безусловно, ПСС в графическом виде более наглядна, но построить её, особенно при большом числе НЭ затруднительно. Проще сначала построить специальную таблицу, где в центральной колонке (табл. 1.6.3) которой перечисляют все найденные НЭ. Их накопление (час за часом, иногда – день за днем) ведут до своеобразного «насыщения» списка, что проявляется в повторях человеком одних и тех же НЭ, но только в других терминах.

Таблица 1.6.3

Пример построения ПСС из НЭ и отыскания КНЭ

№ причинных НЭ	№ НЭ	Описание НЭ	№ следственных НЭ
1	2	3	4
<b>Исходные НЭ и анализ их связей друг с другом</b>			
19	1	Выбрать не тот товар	3
19	2	Выбрать не то количество	3
1, 2, 19	3	Неверно составить заявку	5
22	4	Отправить заявку не на тот адрес	6
3, 22	5	Неверно оплатить счет	6
4, 5	6	Не получить товар	25
21	7	Ошибка в подсчете	10
21	8	Пропуск некачественного товара	10, 24
21	9	Неточная сортировка	12
7, 8, 21, 22	10	Ошибка в оприходовании	13, 14
21	11	Неправильное складирование	12,24
9, 11, 21	12	Неправильное хранение	
10, 20, 23	13	Выписка не того товара	16, 17
10, 20	14	Выписка не того количества	16, 18
20	15	Ошибка в подсчете денег	25
13, 14, 20, 21	16	Неверно скомплектовать заказ	17, 18
13, 16, 21	17	Загрузить не тот товар	25
14, 16, 21	18	Загрузить не то количество товара	25
Внимание! Когда пошло «насыщение», пора переходить к первичному анализу связей НЭ, при этом происходит «достойка» (см. ниже) сети, причем это не было видно ранее			

1	2	3	4
<b>Достраиваемые НЭ</b>			
–	19	Недостаточная квалификация коммерческого директора	1, 2, 3
–	20	Недостаточная квалификация менеджера по продажам	13, 14, 15, 16, 23
–	21	Недостаточная квалификация кладовщика	7, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 17, 18
–	22	Недостаточная квалификация бухгалтера	4, 5, 10
20	23	Отсутствие информации для клиентов	13
8, 11, 12	24	Получение товара, негодного к продаже	–
6, 15, 17, 18	25	Убыток вследствие недостачи	–

Такое «насыщение» – это сигнал к тому, что надо переходить к построению ориентированного графа (сокращенно, орграфа) в табличном виде. Для этого в табл. 1.6.3 в левой колонке выстраивают причинные НЭ, а в правой – НЭ, которые являются следствием. Таким образом, первая и четвертая колонки появляются в результате анализа центральной колонки.

Данный пример построения ПСС из НЭ в табличном виде приведен нами в табл. 1.6.3 для случая анализа технологического процесса оптовой торговли красками на одной из оптовых баз г. Челябинска<sup>1</sup>.

Ясно, что в ходе анализа связей исходных НЭ друг с другом (из центральной колонки) выявляются новые причинные НЭ и для выявления уже для них новых причин (прежние уже рассматриваются как следствия), возникает необходимость достройки ПСС, что отражено в табл. 1.6.3, начиная с НЭ19 в центральном столбце. Таким образом, в таблице появляются так называемые «достраиваемые» НЭ.

После полного анализа уже достроенной сети неприятностей выявляются НЭ ключевого типа (сокращенно, КНЭ). Их признак: в столбце 1 у них стоит прочерк – нет причинного НЭ.

В графическом виде ПСС из НЭ представлена нами на рис. 1.6.3.

<sup>1</sup> Прохоров, Ю.Ф. Основы функционально-стоимостного анализа систем / Ю.Ф. Прохоров, В.В. Лихолетов. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. – 124 с.

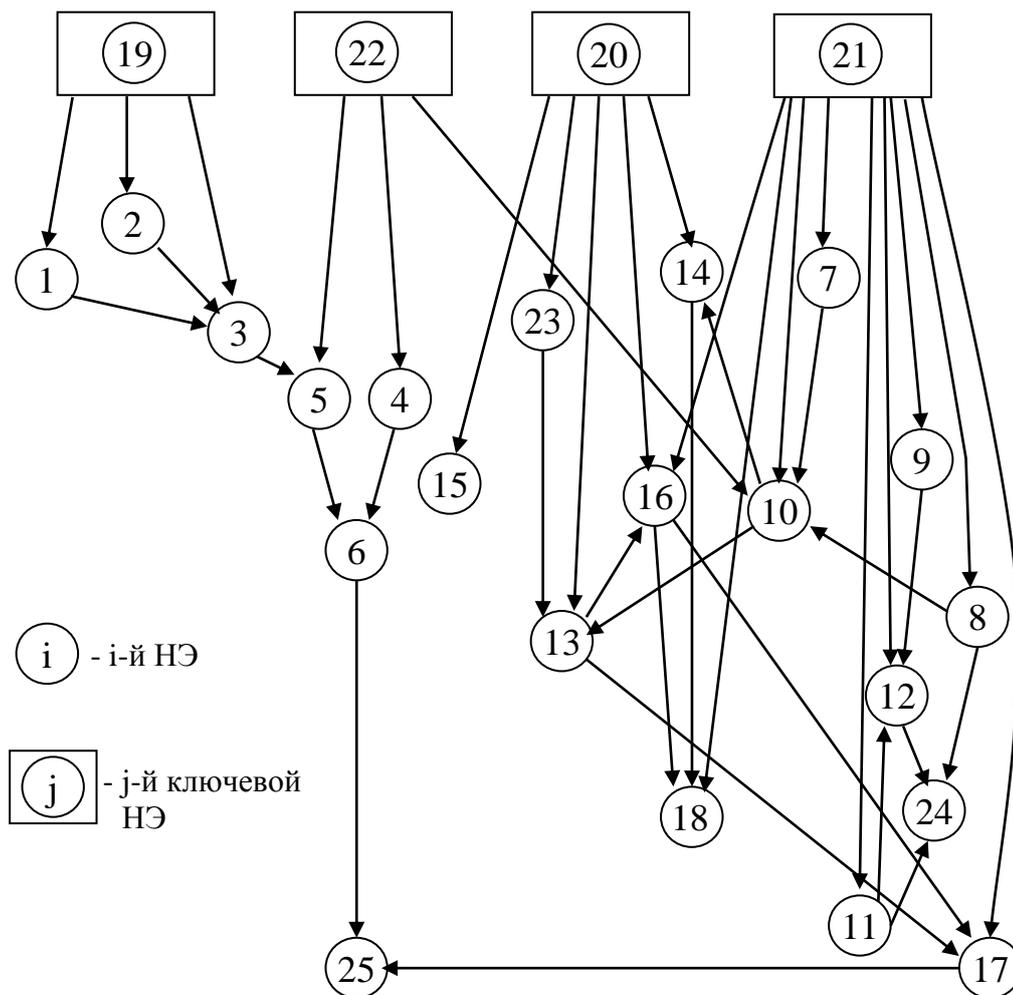


Рис. 1.6.3. Причинно-следственная сеть (ПСС) из НЭ

Как видно из таблицы и рисунка КНЭ являются НЭ под №19, 20, 21, 22. Их оказывается существенно меньше, чем исходных НЭ.

Решение задач по устранению КНЭ рекомендуется проводить с использованием инструментария ТРИЗ. Задачи могут быть и стандартными, тогда ТРИЗ не нужна. В случае выявления нестандартных задач с противоречиями используются приемы разрешения противоречий и задействуется алгоритм поиска ресурсов.

### 1.6.3. Понятие об основных методах генерации альтернатив

Самым распространенным и стихийно используемым всеми людьми методом генерации альтернатив (идей), безусловно, является метод проб и ошибок (МПиО). Обсуждать его в пособии мы не будем.

Дадим характеристику лишь наиболее распространенных **неалгоритмических** (слабоалгоритмизированных) методов активизации мышления при поиске альтернативных вариантов, т.е. новых идей (табл. 1.6.4).

Таблица 1.6.4

## Характеристика неалгоритмических методов поиска идей

№	Метод	Краткая характеристика
1	2	3
1	Метод контрольных вопросов (МКВ)	По существу, это усовершенствованный метод проб и ошибок, где вопросы задаются по заранее составленному вопроснику, а каждый вопрос является пробой или серией проб. Метод заключается в психологической активизации творческого процесса с целью нащупать решение проблемы при помощи серии наводящих вопросов. Применяется с первой четверти XX века, его сущность состоит в том, что исследователь отвечает на вопросы, содержащиеся в предлагаемом списке, рассматривая свою проблему в связи с этими вопросами. Обычно вопросы отражают наиболее существенные проблемы, хотя, конечно, нельзя исключить возможности попадания в список поверхностных вопросов. Наиболее известны вопросники Дж. Пойа из США и Т. Эйлоарта (Великобритания)
2	Мозговой штурм (МШ)	Заключается в коллективной атаке проблемы с целью выбора наиболее удачной идеи. Метод известен как «мозговая атака», «конференция идей». Предложен А. Осборном. Его принципы: 1) в решении задачи участвуют 2 группы людей: генераторы идеи и эксперты; генераторы – люди с творческим мышлением, с фантазией и со знаниями в науке, технике, экономике; эксперты – люди с большим объемом знаний и критическим складом ума, играют роль аналитиков; 2) при генерировании идей нет никаких ограничений (идеи высказываются любые, в т.ч. ошибочные, шуточные, без всякого доказательства и обоснования, они фиксируются в протоколе, в компьютере, на магнитной ленте и т.п. Основа метода – это отделение процесса интегрирования идей от процесса их оценки, генерирование идей ведется в условиях, когда критика запрещена; 3) философская основа штурма – взгляды З. Фрейда, по которым сознание человека представляет собой непрочное наложение над бездной подсознания.

1	2	3
		<p>В обычных условиях мышление человека определяются в основном сознанием, где есть контроль и порядок: сознание «запрограммировано» привычными представлениями. Но сквозь тонкую корку сознания прорываются стихийные силы, бушующие в подсознании. Они толкают человека на нарушение запретов, иррациональные мысли. При штурме приходится преодолевать всякую психологическую закомплексованность, запреты, обусловленные привычными представлениями о возможном и невозможном. Поэтому для изобретения нужно создать условия для прорыва смутных идей из подсознания. Вся сила МШ проявляется в запрете на критику. Но запрет на критику – это и слабость мозгового штурма. Для развития идеи нужно выявить её недостатки. А для этого нужна критика данной идеи</p>
3	Морфологический анализ (МА)	<p>Предложен Ф. Цвикки. В 30-е годы ушедшего века он интуитивно применил его к решению астрофизических проблем и предсказал существование нейтронных звезд. Анализ проводится по следующей схеме, состоящей из шести последовательных этапов. В их числе: 1) формулировка проблемы; 2) постановка задачи; 3) составление списка всех характеристик обследуемого (предполагаемого) продукта или операции; 4) составление перечня возможных вариантов решения по каждой характеристике (перечень называется морфологической картой или таблицей (если характеристик системы две) или «морфологическим ящиком (гиперящиком)», если характеристик – 3 и более). Пятым и шестым этапами анализа являются: анализ сочетаний и выбор наилучшего сочетания.</p> <p>Общее число вариантов в морфоанализе равно произведению числа элементов на осях (факториальная (!) зависимость). В простейшем случае составляется двумерная морфокарта: выбираются две важнейшие характеристики продукта, составляют по каждой из них список всевозможных альтернатив, затем строят таблицу, осями которой являются эти списки. Клетки таблицы соответствуют вариантам решения исследуемой проблемы</p>
4	Фантограмма Г.С. Альтшуллера	<p>При составлении морфотаблиц лишь 30–40% сочетаний могут дать интересный результат. Альтшуллером в 1970 г. был логично поставлен вопрос о возможности построения универсальной таблицы, пригодной для анализа многих систем. По сравнению с обычным морфоанализом число осмысленных сочетаний в фантограмме доходит до 60–70%. В строках фантограммы (сверху вниз) располагаются универсальные показатели, характеризующие любую систему: 1) химический состав вещества; 2) физическое состояние вещества; 3) объект (система); 4) подсистемы или элементы микроструктуры объекта (например, для растения – клетка, для общества – человек); 5) надсистема (система, в которую входит объект как часть); 6) направление развития; 7) воспроизведение; 8) энергопитание; 9) способ перемещения; 10) сфера распространения; 11) управление; 12) цель, назначение и смысл существования. В столбцах даются приемы изменения: 1) уменьшить; 2) увеличить; 3) объединить; 4) разъединить;</p>

Продолжение табл. 1.6.4

1	2	3
		5) заменить данное свойство «антисвойством»; 6) ускорить; 7) замедлить; 8) сместить по времени назад; 9) сместить по времени вперед; 10) сделать свойство меняющимся во времени (а если оно уже меняется, сделать его постоянным); 11) отделить функцию от объекта; 12) изменить связь со средой (включая полную замену среды)
5	Десятичные матрицы поиска Р.П. Повилейко	В строках матриц записываются 10 групп основных показателей технических объектов: 1) геометрические; 2) физико-механические; 3) энергетические; 4) конструктивно-технологические; 5) эксплуатационные; 6) экономические; 7) художественно-конструкторские; 8) надежность и долговечность; 9) степень стандартизации и унификации; 10) удобство обслуживания и безопасность. В столбцы матриц заносятся 10 групп приемов изменения показателей: 1) приемы, связанные с переносом в данную отрасль техники новых для нее значений основных групп показателей технических объектов (неология); 2) приемы, связанные с приспособлением известных процессов, форм, материалов к конкретным условиям (адаптация); 3) приемы, связанные с увеличением-уменьшением показателей объектов (мультипликация); 4) приемы, связанные с разделением функций и элементов системы (дифференциация); 5) приемы, связанные с совмещением функций, форм элементов, системы в целом (интеграция); 6) приемы, связанные с обращением показателей технической системы (инверсия); 7) приемы, связанные с дискретным изменением непрерывности показателей технической системы (импульсация); 8) приемы, связанные с непрерывным изменением показателей системы (динамизация); 9) приемы, связанные с использованием сходства показателей системы и известных объектов (аналогия); 10) приемы, связанные с представлением идеального решения (идеализация). В зависимости от содержания информации матрицы поиска могут носить общетехнический, отраслевой, предметный характер
6	Методы каталога и фокальных объектов (МФО)	Он возник в 1926 г. как метод каталога (Ф. Кунце), а затем был значительно усовершенствован Ч. Вайтингом в середине 50-х гг. XX века. Метод основан на пересечении признаков случайно выбранных объектов на совершенствуемый объект, который лежит как бы в фокусе переноса. Он называется фокальным объектом. Последовательность применения метода: 1) выбор фокальных объектов (продукта или операции); 2) выбор группы случайных объектов наугад из словаря, каталога, книги; 3) составление списка признаков случайных объектов; 4) генерирование идеи путем присоединения к фокальному объекту признаков случайных объектов; 5) развитие случайных сочетания путем свободных ассоциаций; 6) оценка полученных идей и отборе полезных решений. Ее целесообразно поручить группе экспертов
7	Синектика	Метод поиска идеи путем атаки проблемы группами профессионалов с использованием ими аналогий и ассоциаций. «Синектика» (с греч.) означает «совмещение разнородных элементов». Основан на принципах МШ. Но если обычный шторм проводится людьми, не обу-

		ченными специальным приемам, то синектика предполагает участие
--	--	--

Окончание табл. 1.6.4

1	2	3
		<p>постоянных групп специалистов и широко использует соответствующие аналогии. У. Гордон в отличие от А. Осборна сделал упор на необходимость предварительного обучения и использование специальных приемов, а также на определенную организацию процесса решения. Есть два механизма творчества: а) неоперационный – неуправляемые процессы, включающие в себя интуицию и вдохновение; б) операционный – процессы, включающие в себя использование разного вида аналогий. Важно научиться применять операционный механизм, это повышает эффективность творчества и создает условия для неоперационного механизма. Применение синектики в решении проблемы включает этапы: 1) ознакомления с проблемой; 2) уточнения проблемы (превращение «проблемы как она дана» (ПКД) в «проблему, как понята» (ПКП); 3) решение проблемы. Под решением проблемы понимается взгляд с какой-то точки зрения, чтобы сбить психоинерцию. Используются виды аналогий: 1) прямая; 2) личная (эмпатия); 3) символическая; 4) фантастическая. В первой рассматриваемый новый продукт (операция) сравнивается со схожими продуктами (операциями). Личная аналогия означает, что специалист, решающий проблему, отождествляет себя с продуктом (операцией), моделирует образ нового продукта (операции). Решатель как бы «вживается» в роль покупателя, стремясь лучше понять его. Символическая аналогия – обобщенная аналогия. Наиболее простой символической аналогией можно считать обычную экономико-математическую модель. Фантастическая аналогия позволяет создать абстрактный образ, даже невозможный для реализации</p>

#### 1.6.4. Место и роль ТРИЗ среди методов создания идей

Если построить диаграмму в координатах «мощность метода – сложность» и расположить в них известные методы поиска альтернативных вариантов решений, то станет видно, что среди них ТРИЗ обладает наивысшей мощностью (рис. 1.6.4). В освоении ряда инструментов она сложна, поэтому при разработке программных продуктов поддержки мышления типа «Изобретающая машина» одной из целей было разрешение противоречия между мощностью ТРИЗ и её сложностью. Поясним, что важнейший инструмент ТРИЗ – АРИЗ разработан Г.С. Альтшуллером в конце 50-х гг. Позже появились его модификации. АРИЗ-85В состоит из 9 частей, каждый из них содержит ряд шагов, регламентированных конкретными правилами: 1) анализ задачи; 2) анализ модели задачи; 3) определение идеального конечного результата (ИКР) и физического противоречия (ФП); 4) мобилизация и применение вещественно-полевых ресурсов (ВПр); 5) применение информфонда; 6) изменение и/или замена задачи; 7) анализ способа устранения ФП; 8) применение полученного ответа; 9) анализ хода решения.

АРИЗ – универсальная программа поиска новых решений. Процесс решения задачи с его помощью схематически приведен ниже на рис. 1.6.5.

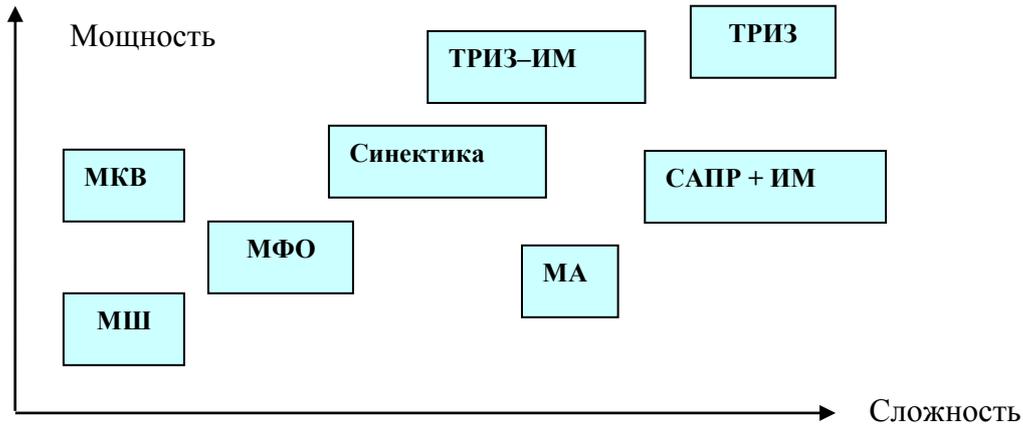


Рис. 1.6.4. Сравнение методов создания идей: МШ и МФО – методы мозгового штурма и фокальных объектов; МКВ и МА – контрольных вопросов и морфологического анализа; ИМ и САПР – продукты типа «Изобретающая машина» и системы автоматического проектирования

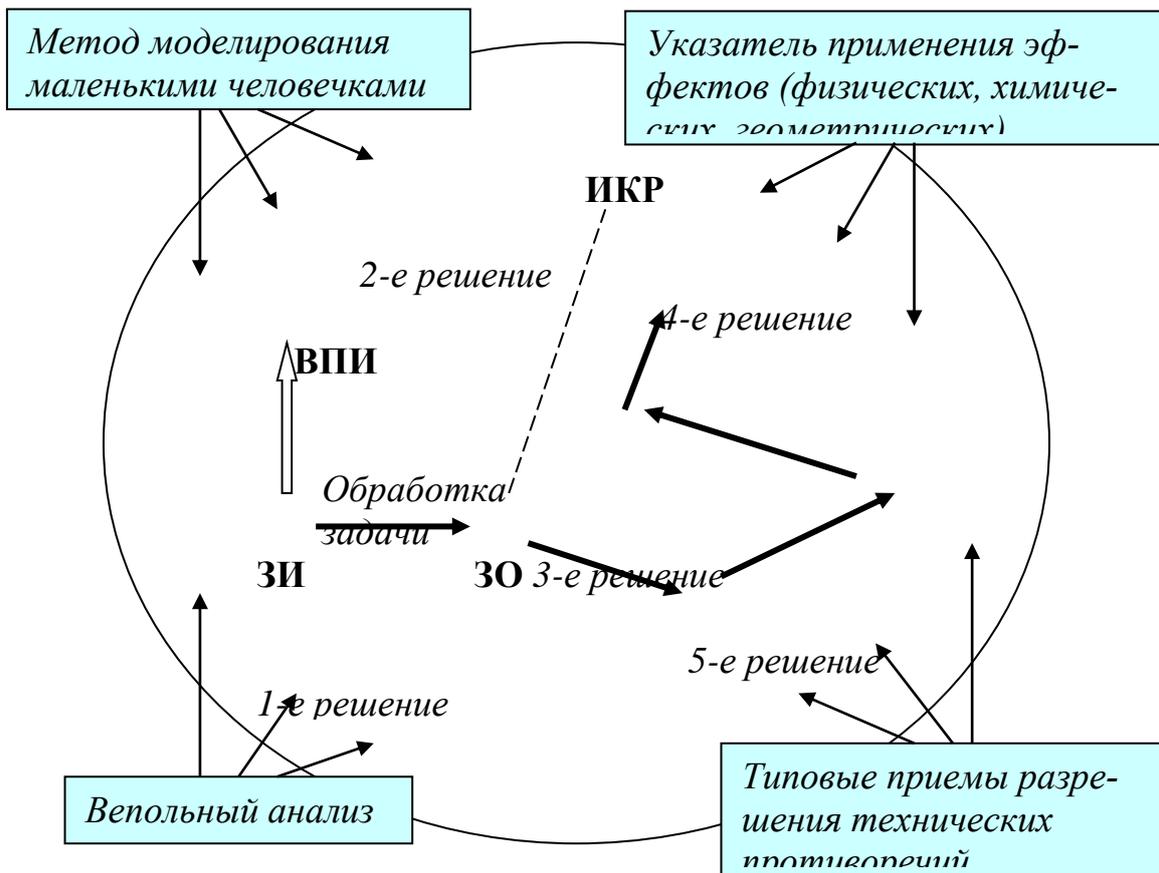


Рис. 1.6.5. Схема решения изобретательской задачи по АРИЗ: ЗИ и ЗО – задача исходная и обработанная; ВПИ – вектор психологической инерции; ИКР – идеальный конечный результат

Последовательность, направленность и активизация мышления в нем достигаются ориентировкой решателя задачи на **идеальное решение**. Ключевым понятием ТРИЗ, отражающим направленность развития систем любой природы, является понятие идеальности:

$$И = \Phi / З \rightarrow \infty, \quad (1.6.1)$$

где в числителе – совокупность функций, а в знаменателе – совокупность затрат на реализацию этих функций.

Понимая, что функция эквивалентна сущности, а затраты отражают материальное воплощение этой сущности в виде явления (формы или структуры), можно сделать вывод об идеальности как об отношении противоположностей – сущности (+) к форме (–). При этом затраты, отраженные в знаменателе формулы идеальности, принято рассматривать в ФСА в составе комплементарных компонент:

$$З = Зф.н.(+) + Зф.н.(–), \quad (1.6.2)$$

где первая отражает функционально-необходимые затраты, а вторая – функционально-избыточные.

Здесь также ясно, что эти компоненты противоположны и дополнители. Причиной появления избыточности в любых системах является, по сути, человеческое незнание, поэтому **Зф.н.** интерпретируем как «цену незнания». В этом случае первую компоненту **Зф.н.** можно, наоборот, рассматривать как «цену знания» (ведь любое знание в любой момент времени несовершенно, но оно закреплено в установленных обществом нормах и признается как обоснованное или необходимое).

Подчеркнем ещё раз, что процесс решения нестандартной (изобретательской) задачи состоит в том, чтобы путем сравнения идеального и реального выявить противоречие и устранить его, перебрав относительно небольшое число вариантов. В АРИЗ «встроен» ряд эвристических инструментов (метод моделирования маленькими человечками, указатель эффектов (физических, химических, геометрических, биологических и др.), вепольный анализ, приемы разрешения противоречий), помогающих лучше структурировать условия задачи, борясь с психологической инерцией (см. ВПИ на рис. 1.6.5). Виды психологической инерции решателя задач (он же может быть и ЛПР) рассмотрены нами ранее в разделе 1.2.2.

В процессе создания ТРИЗ и совершенствования модификаций АРИЗ стало ясно, что многие блоки ТРИЗ могут жить «самостоятельной жизнью» и использоваться решателями задач отдельно от других при решении проблемных ситуаций. Например, **приемы устранения технических противоречий** – самый простой для изучения и использования инструмент. Для хорошего практического овладения требуется 10–12 учеб-

ных и 10–20 часов самостоятельной работы. Сам процесс решения задачи после подготовки занимает немного времени – в пределах нескольких часов.

**Вепольный анализ и стандарты на решение изобретательских задач** для освоения требуют примерно такого же времени, в основном на отработку техники построения вепольных формул и на тренировку в поиске необходимых для данной задачи стандартов. Затраты времени на процесс решения также невелики. Тем не менее, этот инструмент дает решения более высокого уровня, чем приемы, хотя как тот, так и другой недостаточно эффективны при решении плохо поставленных задач (рис. 1.6.6).

В последнем случае гораздо эффективнее АРИЗ, но для его практического освоения требуется не менее 40–60 учебных часов и до 200 часов самостоятельной работы. Решение задач с помощью АРИЗ трудоемко – иногда десятки, а порой и сотни рабочих часов. Но это немного, если учесть, что такие задачи, как правило, ждут своего решения десятилетиями.

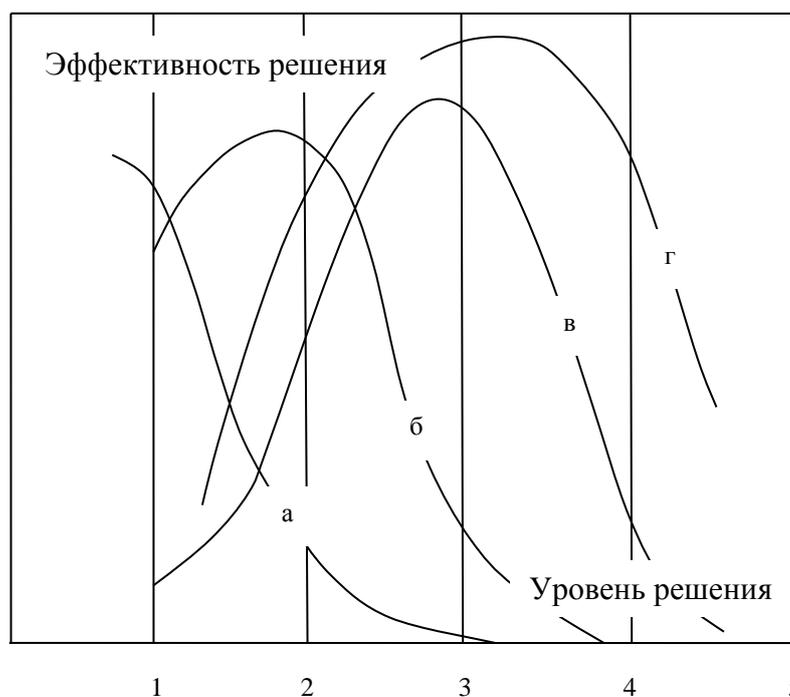


Рис. 1.6.6. Сравнение эффективности инструментов ТРИЗ и МПиО в решении задач разных уровней: а – МПиО; б – приемы разрешения технических противоречий; в – вепольный анализ и стандарты на решение изобретательских задач; г – алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ)

Специалист, владеющий ТРИЗ, способен получать решения на 1–2 уровня выше, чем даже опытный изобретатель, но не знакомый с ТРИЗ. Есть разница между специалистом, лишь прошедшим обучение по ТРИЗ, и тем, кто пользуется теорией много лет, но не столько в уровне решений,

сколько в скорости их получения (за счет более обширного фонда задач-аналогов, наработанной техники формулирования шагов АРИЗ).

Сегодня имеется возможность уменьшить и это различие, а также повысить уровень решений с помощью ЭВМ. Разработаны программные продукты интеллектуальные системы класса «компьютерная поддержка мышления» (computer aided thinking). Начало продуктам было положено в конце 80-х – начале 90-х гг. рамках международного проекта «Изобретающая машина» (ИМ), штаб-квартира которого находилась в г. Минске. Сегодня спектр этих продуктов вырос, однако общая направленность разработок программных продуктов в целом осталась прежней.

Конечно же, компьютер сам задачи не решает. Он лишь предлагает решающему подходящие к конкретной задаче инструменты ТРИЗ, подсказывает задачи-аналоги, напоминает о физических, химических и других эффектах, доброжелательными вопросами помогает изменить задачу, оценить степень идеальности полученных решений. Применение программных продуктов позволяет не только эффективно решать задачи, но и ускоряет процесс освоения ТРИЗ. Сегодня на базе идеологии продуктов ИМ отрабатываются новые программные комплексы.

«Сердцем» ТРИЗ является инструментарий работы с противоречиями. **Противоречие** – важнейшее понятие, не случайно именуемое «ядром диалектики». По Г. Гегелю, в природе нет предмета, в котором не найти противоречия, «противоречие есть корень всякого движения и жизненности».

В обыденности под противоречием понимается несогласие, противоположность мнений по одному и тому же поводу. Этимологически слово противоречие – это «против речи», против мнения, против желания.

**В формальной логике** под противоречием понимают противоречие с истиной, – наличие в одном и том же рассуждении двух высказываний, из которых одно исключает другое. Например, утверждение «**объект А сейчас горячий**» противоположно и исключает утверждение «**объект А сейчас холодный**». По законам формальной логики эти два утверждения одновременно и одновременно верными быть не могут, при условии, конечно, что понятия «горячий» и «холодный» четко определены. Однако в **диалектической логике** противоречия считаются естественным источником развития систем.

Большая советская энциклопедия (БСЭ) определяет диалектическое противоречие как «взаимодействие противоположных, взаимоисключающих сторон и тенденций предметов и явлений, которые вместе с тем находятся во внутреннем единстве и взаимопроникновении, выступая источником самодвижения и развития объективного мира и познания». Таким образом, **диалектическое противоречие** – это **раздвоение единого объекта** на два исключаящих и взаимопроникающих момента, **формально-логическое противоречие** – это не раздвоение единого, а **приписывание** единому в целом объекту какого-либо признака и одновременное отрица-

ние этого же признака у данного единого объекта. Иносказательно можно это представить так: **в случае диалектического противоречия две стороны в сумме дают 1, а в случае формально-логического противоречия – утверждение (+) и отрицание (–) дают 0.**

Диалектика дает ясный механизм рождения нового как результат взаимодействия противоречий. Отношения между составляющими системы (или её внешним окружением) категорируются по степени различия – амбивалентности<sup>1</sup>: **тождество, различие, противоположность** или собственно противоречие (рис. 1.6.7). Любое из несовпадений на качественном уровне может вылиться в зародыш нового, ещё не присущего системе. В ходе развития системы несовпадения углубляются, превращаясь в некую несовместимость, вначале распространяющуюся на определенную область системы, а затем, в случае успешных трансформаций, приобретающую законченность формы (элементную, структурную, организационную)<sup>2</sup>.

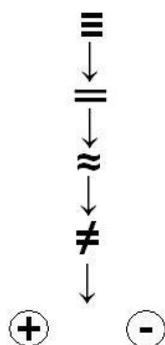


Рис. 1.6.7. Цепочка уровня различия свойств систем – от тождества до противоположности (полярности) как предельного различия

Организуясь как самостоятельное, это образование несет в себе категорию отрицания, что и проявляется в его локализации. Но коль скоро новое образование вырастает внутри системы, в предыстории являясь частью системы, оно тем самым демонстрирует единство с последней. Этот цикл завершается сосуществованием двух образований: «старой» системы (которая переродилась, т.к. выделила из себя нечто новое и в течение этого акта взаимодействовала с ним) и нового образования, приобретшего законченную форму и, быть может, известную самостоятельность. Последнее и составляет сущность закона отрицания отрицания.

Раскрывая студентам источники развития и разнообразия мира, приходится, во-первых, обращаться к их имеющемуся виталенному опыту, во-

<sup>1</sup> Амбивалентность (от лат. *ambo* – «оба» и *valentia* – «сила») – двойственность отношения к чему-либо, двойственность переживания, выражающаяся в том, что один объект вызывает у человека одновременно два противоположных чувства.

<sup>2</sup> Могилевский, В.Д. Методология систем: вербальный подход / В.Д. Могилевский. – М.: Экономика, 1999. – С. 31.

прошая: «Назовите, что есть в мире одинаковое?». Такого не находится (см. рис. 19). При этом приходит осознание, что тождество и равенство свойств (любых характеристик, показателей) есть не что иное как **упрощение (моделирование)**, помогающее понять окружающий мир<sup>1</sup>.

Во-вторых, приходится обращаться к эвристике «от противного» (если в мире есть одинаковые элементы, тогда между ними нет тяготения, связи и последующего движения, а это противоречит аксиоматическому утверждению Гераклита: «Все течет...»).

Заклучив, что ничего одинакового в мире нет («все разное»), осуществляем старт от **различия как причины** (+) и приходим к мысли о тяготении элементов друг к другу как следствию (-), добавляя, что это тяготение – «взаимное». Далее иллюстрируем действие диалектического закона отрицания отрицания: то что было следствием, становится причиной. Взаимотяготение (как причина) приводит в свою очередь к возникновению очередного следствия – связи (точнее, взаимосвязи) между элементами. Далее взаимосвязь из следствия (согласно закону отрицания отрицания) переходит в причину, порождающую следующее следствие – изменение (точнее, взаимоизменение) элементов. Этот результат завершает первую «петлю» системообразования как следствие, начиная следующую петлю как причина. При этом студентам становится более понятной сущность развертывания разнообразия системного мира – неисчерпаемого генератора развития.

Для наглядного отображения **противоречия** можно воспользоваться графическим образом (шаблоном), на котором символами (+) и (-) отмечены **желательные** и **нежелательные** для решателя в текущем пространстве-времени свойства (параметры) объекта (рис. 1.6.8).

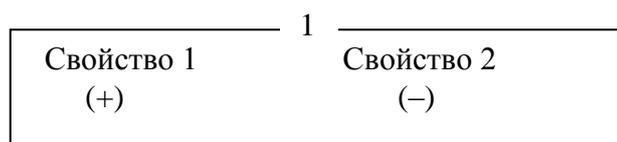


Рис. 1.6.8. Модель-шаблон противоречия в статике

На модели-шаблоне видно, что целостность любого объекта (а единица – символ целостности), обусловлена наличием пар противоположных свойств (вспомним библейское: «Каждой твари по паре»). Если убрать одно из свойств, целостность нарушается – остается лишь половина целого. Кроме того, оставшееся свойство решатель задачи не может оценить в категориях желательности-нежелательности из-за отсутствия базы сравнения (вспомним: «Все познается в сравнении»).

<sup>1</sup> Один из «отцов» кибернетики Р.У. Эшби выражался по этому поводу так: «Наша цель – упрощение». Есть красивая фраза К.С. Станиславского: «Сложное сделать простым, простое сделать привычным, привычное сделать приятным».

Модель объясняет «энергетизм», сокрытые источники движения вещей. Она напоминает электрический аккумулятор<sup>1</sup>, при соединении полюсов (клемм) которого проводником в последнем возникает электрический ток. Таким образом, можно обобщенно говорить **о противоречии, о скрытых причинах саморазвития объектов как о разности потенциалов самой различной природы** (электрического и других полей).

Противоречие не может не разрешаться. Это может происходить быстро или медленно (доли секунды или десятки тысяч лет) в зависимости от характера самой системы, но это обязательно происходит. Иначе это бы означало прекращение всякого движения.

На приведенной выше модели-шаблоне можно показать, что развитие, проявление движения объекта (действие) состоит в изменении свойств, т.е. переходе от одних свойств (одного свойства) к другим (другому) (см. стрелку на рис. 1.6.9). Далее покажем это движение как колебание в цикле.

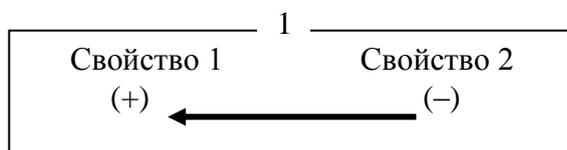


Рис. 1.6.9. Модель-шаблон противоречия в динамике

На модели обнаруживается источник действия, поэтому рассуждения оказываются вполне корректными, ведь **действие (Д) или активность** определяется нами как «внешнее проявление свойств одного материального объекта, состоящее в изменении свойств другого материального объекта».

Подтвердим изложенное иллюстрациями Ю.Н. Соколова, касающимися разрабатываемой его научной школой общей теории цикла (ОТЦ)<sup>2</sup>.

Можно представить, что во всем материальном мире существуют лишь два объекта А и В, находящихся во взаимодействии (рис. 1.6.10).

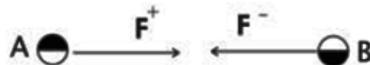


Рис. 1.6.10. Принципиальная структура взаимодействия объектов А и В

В этом взаимодействии действуют две противоположно направленные силы (силы действия объекта А на объект В и силы противодействия объ-

<sup>1</sup> Аккумулятор может быть разряженным, дающим малый ток. Аналогично можно говорить об ослабленных противоречиях или, наоборот, о предельно обостренных противоречиях. Важно, что говоря о противоречиях, мы выходим на понимание причин любых движений, любой активности систем.

<sup>2</sup> См.: Циклы как основа мироздания. – Ставрополь: Изд-во Сев.-Кавказ. гос. техн. ун-та, 2001. – 568 с. (источник: <http://www.ncstu.ru>)

екта В). Через эти силы каждый объект проявляет себя и выступает как бы «силовым» узлом взаимодействия. Взаимодействие двух объектов А и В объединяет эти объекты в одно неразрывное целое. Следовательно, силы действия и противодействия принадлежат одновременно объектам А и В.

Нас интересует объект А. Рассмотрим, что будет происходить с этим объектом по истечении некоторого времени взаимодействия. Силы действия и противодействия, сосредоточенные на объекте А, можно представить в виде двух противоположно направленных векторов ( $F^+$  и  $F^-$ ). В процессе взаимодействия эти силы будут каким-то образом изменяться, поскольку взаимодействие это не статика сил, а скорее их динамика.

Как могут изменяться эти силы? Возможны лишь два варианта. Во-первых, изменение их направления; во-вторых, изменение их величин.

Рассмотрим изменение направления сил (рис. 1.6.11). Силы действия и противодействия определенно направлены. Если силы действия обозначить как правые, то тогда противоположные силы противодействия будут выступать как левые. В ходе взаимодействия они могут измениться по направлению только одним способом – изменить свое направление на противоположное. Правые силы станут левыми, а левые силы – правыми. На математическом языке произойдет инверсия сил.

В ходе дальнейшего взаимодействия вновь произойдет изменение направления сил, и они вернуться в исходное состояние. При дальнейшем взаимодействии все повторится. Что могут означать для объекта А эти изменения направления сил?

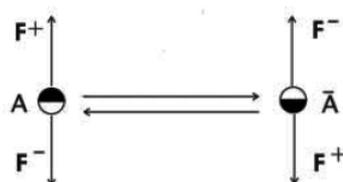


Рис. 1.6.11. Принципиальная схема изменения сил по направлению

Во взаимодействии объект А выступает «силовым» узлом. Если силы действия и противодействия в одном узле имеют одно направление, а в другом прямо противоположное, это означает, что эти два узла являются противоположностями. Если один силовой узел выступает как объект А, то второй – как его противоположность (антиобъект). Так во взаимодействии можно выделить повторяющуюся структуру. В этой структуре объект А переходит в свою противоположность, а затем возвращается к себе.

Данная структура взаимодействия определяется Ю.Н. Соколовым как элементарная и называется квантом взаимодействия (рис. 1.6.12 и 1.6.13).

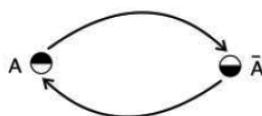


Рис. 1.6.12. Структура кванта взаимодействия (по Ю.Н. Соколову)

Кроме направлений векторов будет меняться и их величина. Естественно, возникает вопрос: каким образом и в каких пределах?

Сумма сил действия и противодействия по абсолютной величине составляет меру взаимодействия, которая в нашем случае не может быть превышена из-за наличия только двух взаимодействующих объектов:

$$[F+] + [F-] = \text{const} \quad (1.6.3)$$

Если во взаимодействии будет увеличиваться сила действия, то для того, чтобы не изменилась мера, сила противодействия будет уменьшаться. Сила противодействия, естественно, не может исчезнуть совсем. Её исчезновение означало бы прекращение взаимодействия.

Следовательно, существует некий предел увеличения сил действия и уменьшения сил противодействия. Силы действия и противодействия во взаимодействии равноправны. Значит, во взаимодействии будет существовать ситуация, когда силы противодействия будут увеличиваться, а силы действия уменьшаться. Здесь также будет присутствовать тот же предел их увеличения и уменьшения, как и в первом случае.

Логично, что во взаимодействии двух объектов будут периодически чередоваться эти две ситуации. Первая ситуация: увеличение сил действия и уменьшение сил противодействия. Вторая ситуация: увеличение сил противодействия и уменьшение сил действия. Силы действия обозначены как положительные ( $F+$ ), а силы противодействия – как отрицательные ( $F-$ ). В результате реализации двух ситуаций сначала будет увеличиваться результирующая положительная сила, которая достигнув максимума, будет уменьшаться. Затем будет увеличиваться отрицательная результирующая сила, которая, также достигнув максимума, будет уменьшаться.

Процесс можно представить в виде графика (рис. 1.6.13). Точки 1, 3, 1 соответствуют ситуации, когда силы действия равны силам противодействия. В точке 2 сила действия максимальна, а сила противодействия минимальна. В точке 4 все наоборот – сила противодействия максимальна, а сила действия минимальна.

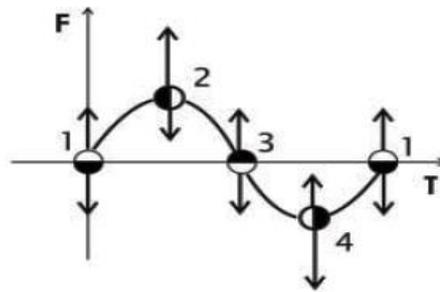


Рис. 1.6.13. Изменение результирующей силы в кванте взаимодействия

Если принять, что точка 1 соответствует объекту, то точка 3 будет соответствовать его противоположности. Точка 1 – это возврат объекта А в исходное состояние. Таким образом, график на рис. 1.6.13 отражает процесс изменения результирующей силы в кванте взаимодействия.

Итак, что в точке (2) сила действия максимальна, а сила противодействия минимальна. В точке (4) все наоборот, сила действия минимальна, а сила противодействия максимальна. Тогда возникает вопрос о пределе увеличения одной силы и уменьшения второй. Такой предел должен существовать и это вытекает из следующих рассуждений.

Представим, что такого предела нет. Тогда можно увеличивать одну силу и уменьшать вторую силу до нуля. Мы приходим к тому, что остается только одна сила, а это равносильно исчезновению взаимодействия. Такого, естественно, быть не может. Следовательно, предел увеличения одной силы и уменьшения второй существует. Вопрос об обсуждаемом пределе изменения сил, на взгляд разработчиков ОТС, можно решить на основе **золотого сечения**<sup>1</sup>. Поэтому Ю.Н. Соколов полагает, что природу золотого сечения можно раскрыть лишь в рамках общей теории цикла.

Таким образом, все объекты системного мира «обитают», движутся и изменяются сами, изменяют друг друга в пространственно-временном континууме. Здесь пространство и время выступают в качестве сред, где возникают и могут разрешаться противоречия в системах. В этом случае мы уже начинаем говорить о **ресурсах**, точнее, **вещественно-полевых ресурсах** (или сокращенно, ВПР) – т.е. средствах разрешения противоречий.

**Способы разрешения (снятия) противоречий** в мире систем можно укрупнено подразделить на следующие три блока: 1) **разделения противоположных свойств в пространстве и во времени**; 2) **разделения противоположных свойств в структуре объекта** (путем изменений самой системы в целом и путем её свертывания – перехода в подсистему); 3) **обхода – путем системных переходов в надсистеме** (путем перехода в надсистему, путем отказа от данной системы и перехода к альтернативной системе и путем перехода к антисистеме).

**Разрешение противоречий** – это выбор направления развития системы в состоянии неустойчивости (точке бифуркации<sup>2</sup>). Известно, что точка би-

---

<sup>1</sup> В последние годы в науке наблюдается оживление в исследовании роли золотого сечения в разных областях науки. Убедительно показывается, что золотое сечение – универсальная мировая константа, но его природа до сих пор не познана.

<sup>2</sup> Под бифуркацией понимается нарушение устойчивости эволюции системы, приводящее к возникновению после точки бифуркации спектра альтернативных виртуальных сценариев эволюции. Вследствие потери системой устойчивости в этой зоне фундаментальную роль приобретают случайные факторы. Это обстоятельство имеет важное значение в процессах социокультурной динамики и приводит к нелинейному пониманию соотношения необходимости и свободы воли. В рамках нелинейного мышления свободу следует понимать не как осознанную необходимость, а как возможность выбо-

фуркации носит кратковременный характер и разделяет более длительные устойчивые режимы системы. Это критическое состояние системы, при котором система становится неустойчивой относительно флуктуаций и возникает неопределенность: станет ли состояние системы хаотическим или она перейдет на новый, более высокий уровень упорядоченности. Обычно эта точка имеет несколько веточек аттрактора (устойчивых режимов работы), по одному из которых пойдёт система. Однако заранее невозможно предсказать, какой новый **аттрактор**<sup>1</sup> займёт система.

Поясним, какие системы вовлекаются в процесс разрешения противоречий. Дадим для этого классификацию систем по **функциональному основанию** (табл. 1.6.5). Во-первых, выделяют системы **однородные (однофункциональные)**. Внутри этой группы систем можно сделать подразделение по степени различия: однородные и однородные со сдвинутыми характеристиками. Эти системы являются **конкурирующими**, т.е. одна система способна заменить другую.

В круге конкурирующих систем также находятся и **альтернативные** системы. У альтернативных систем одинаковые функции, но разные принципы действия (кратко записываем, что ПД1 не похож на ПД2).

Таблица 1.6.5

Классификация систем по выполняемой функции

Название систем	Тип по отношению к конкурентоспособности	Признаки	Простейшие примеры
Однородные (однофункциональные)	Конкурирующие	$F1=F2,$ $ПД1=ПД2$	Два простых карандаша – с одинаковой твердостью 3М и 3М
Однородные (однофункциональные) со сдвинутыми характеристиками		$F1=F2,$ $ПД1=ПД2$	Два простых карандаша разной твердости – Т и 3М
Альтернативные системы		$F1=F2,$ $ПД1 \neq ПД2$	Простой карандаш и механический (цанговый)
Разнородные (разнофункциональные) системы	Не конкурирующие	$F1 \neq F2$	Простой карандаш твердостью 3М и ножницы
Антисистемы		$F1 = -F2$	Простой карандаш твердостью 3М и бумага

ра среди виртуальных альтернатив, но одновременно и нравственную ответственность за этот выбор (Лебедев С.А. Философия науки: Словарь основных терминов. – М.: Академический Проект, 2004. – 320 с.).

<sup>1</sup> Аттрактор (от англ. attract – притягивать) – множество состояний (точнее – точек фазового пространства) динамической системы, к которому она стремится с течением времени.

Следующий класс систем – **разнородные** (разнофункциональные). Их можно охарактеризовать в символьной записи так:  $F1 \neq F2$ . Примером может служить: шариковая ручка и настольная лампа. Эти системы не конкурируют (одна система не может заменить другую).

В процессе решения задач решатель (он может быть и ЛПР) имеет дело с конкретной системой, а с ней связана вполне конкретная функция. Если Решатель выбирает систему с другой функцией, он, по сути, начинает решать совершенно другую задачу. Это хорошо иллюстрируется пословицей: «Я тебе про Фому, а ты мне – про Ерёму».

Если продолжить ряд увеличения различия систем, можно прийти к **антисистемам**. Это системы с противоположными функциями, они обладают противоположно направленными действиями (например, поглощать-выделять, потреблять-производить). Так, например, карандаш выделяет (отделяет чешуйки графита), а бумага чешуйки графита присоединяя, удерживает (см. табл. 1.6.5).

Далее нами в табл. 1.6.6 приведены иллюстрации «работы» приемов разрешения противоречий, детализирующих («раскрывающих») на различных приемах, выявленных в ТРИЗ, три блока способов, сформулированных выше. Они даны на доступных для студентов примерах экономико-управленческой и юридической областей.

Таблица 1.6.6

Способы и приемы разрешения противоречий

№	Прием	Сущность приема	Примеры
1	2	3	4
1. Способ разрешения противоречия путем разделения противоположных свойств:			
1.1. в пространстве			
1.1.1	Деления	Система делится на множество независимых частей с противоположными свойствами	Бюджет страны с его доходной и расходной частями. Создание служб собственной внутренней безопасности в МВД (для «присмотра» за потенциальными нарушителями и мздоимцами)
1.1.2	Вынесения	Отделить от объекта «мешающую» часть (свойство)	Вынесение вредных производств за пределы городов (или даже стран). Адресная помощь «отстающим» предпринимательским структурам в Дании. Это обеспечивает в государстве сохранение рабочих мест и налогооблагаемой базы (в противном случае при банкротстве нет ни того, ни другого)
1.1.3	«Матрешки»	Один объект размещен внутри другого, тот – внутри третьего и т.д.	Отпускная цена предприятия (себестоимость + прибыль + акциз (по подакцизным товарам) + НДС) = оптовая цена (отпускная цена + наценки

			посреднических организаций) =
Продолжение табл. 1.6.6			
1	2	3	4
			розничная цена(оптовая цена + торговые наценки). Денежная «кукла» при мошенничестве
1.1.4	Местного качества	Перейти от однородной структуры объекта к неоднородной. Разные части объекта должны иметь разные функции.	Бизнес: большой и малый (последний дает до 70–80% ВВП индустриально развитых стран). Многоукладность экономики. Различие организационно-правовых форм предприятий
1.1.5	Асимметрии	Перейти от симметричной формы объекта к асимметричной	Изменение пропорций статей бюджета (например, уменьшение дефицита)
1.1.6	Перехода в другое измерение	Трудности движения (размещения) объекта по линии устраняются на плоскости (два измерения) или в объеме (три измерения). Переход к многоэтажной компоновке объекта	Финансовые пирамиды 90-х годов (С. Мавроди, «Властилина», «Хопер-Инвест») и проч. Пирамиды ГКО и дефолт 1998 года. Использование оборотной стороны бумаги для необходимых записей
1.1.7	Копирования	Вместо сложного, дорогого, неудобного объекта используются упрощенные или дешевые копии, модели	Моделирование во всех видах. Установка резиновых копий начальников в комнатах психологической разгрузки на японских предприятиях.
1.1.8	Посредника	Использовать промежуточный объект-переносчик.	Любое посредничество (например, торговое). Посредники на переговорах
1.1.9	Использования гибких объектов	Вместо объемных объектов используют гибкие, тонкие объекты. Изолирование объектов от внешней среды с помощью гибких объектов.	«Гибкие» цены, «гибкое» управление. «Тянущая» логистика – работа от потребности рынка
1.1.10	Применения пористых (пустых) объектов	Выполнить объект пористым (пустым). Если объект пористый, наполнить поры каким-то веществом.	Безводные, безвоздушные, безлюдные технологии. Безбумажные технологии в делопроизводстве. Незаполненное штатное расписание в организации
1.1.11	Сфероиальности	Перейти от прямолинейности к криволинейности, сферичности. Использовать ролики, шарики, спирали	Ротация менеджерских кадров по спирали на японских предприятиях – сначала работа на разных участках в пределах уровня, затем переход на более высокий уровень
1.2. во времени			
1.2.1	Динамичности	Характеристики объекта должны меняться так,	Концентрация производства, диверсификация производства. При-

		чтобы быть оптималь-	влечение временных работников
--	--	----------------------	-------------------------------

Продолжение табл. 1.6.6

1	2	3	4
		ными на каждом этапе работы. Разделить объект на части, способные перемещаться относительно друг друга	
1.2.2	Отброса и регенерации частей	Выполнившая назначение, ставшая ненужной часть объекта отбрасывается или видоизменяется. Расходуемые части объекта должны восстанавливаться в ходе работы.	Амортизация основных фондов. Воспроизводство рабочей силы. Сезонные работники
1.2.3	Предварительного исполнения	Заранее выполнить требуемое изменение объекта (полностью или частично)	Сборочные заводы (сборка компьютеров – «желтая сборка» в Азии). Предварительная оплата чего-либо
1.2.4	«Заранее подложенной подушки»	Компенсировать относительно невысокую надежность объекта заранее подготовленными аварийными средствами.	Страхование бизнеса. Залог в банке
1.2.5	Периодического действия	Перейти от непрерывного действия к периодическому импульсному. Если действие периодически изменить периодичность	Аннуитет – инвестиции, приносящие клиенту через регулярные промежутки времени определенную сумму денег
1.2.6	Использование колебаний	Привести объект в колебательное движение. Если объект колеблется, изменить частоту.	Использование принципа академика Челомея («Чтобы система была устойчивой, ее надо чаще трясти») для организации
1.2.7	Проскока	Преодолевать вредные, опасные стадии процесса на большой скорости.	«Шоковая терапия» в экономике России
1.2.8	Непрерывности полезного действия	Вести работу непрерывно, устранить холостые и промежуточные ходы.	Научная организация труда (НОТ), тейлоризм – потогонная система в менеджменте. «Смена работы есть отдых». Непрерывный (процессный) подход в менеджменте
1.2.9	Использование объектов, изменяющих свойства во времени	Вместо неизменяемых объектов (частей) использовать объекты, изменяющие свои свойства во времени	Самолет с изменяемой в зависимости от режима полета геометрией крыла, корпуса и др. Управление проектами – изменяющийся состав ВРГ
1.2.10	Частично-избыточного	Если трудно получить 100 % требуемого эффек-	Адаптивные системы не могут быть сориентированы на 100% полноту

	решения	та, надо получить «чуть	исходной информации о поведении
--	---------	-------------------------	---------------------------------

Продолжение табл. 1.6.6

1	2	3	4
		меньше» или «чуть больше». Задача при этом упрощается.	объекта управления и о возникающих в процессе эксплуатации возмущениях. В процессе эксплуатации информация пополняется, и система совершенствуется
2. Способ разрешения противоречия путем разделения противоположных свойств в структуре объекта:			
2.1. путем изменений самой системы в целом			
2.1.1	<b>Изменением объемных свойств (физико-химических параметров)</b>	Изменить агрегатное состояние объекта, концентрацию или консистенцию, степень гибкости, температуру, объем	Применение гибких автоматизированных производств (ГАП). Изменение концентрации производства. Переход к виртуальному управлению
2.1.2	Применением фазовых переходов	Использовать явления, возникающие при фазовых переходах	Экономика переходного периода (квази-состояние), например, транзитивная экономика в России
2.1.3	Применение расширения (сжатия)	Использовать энергетическое расширение / сжатие объектов. Если расширение имеется, применить объекты с разными коэффициентами расширения	«Распухание» статей бюджета. Защищенность ряда статей бюджета
2.1.4	Замена схемы	Заменить применяемую схему работы объекта другой, эффективной	Замена схем: управления (от иерархической к сетевой, от традиционного к проактивному)
2.1.5	Изменения окраски	Изменить окраску (степень прозрачности) объекта (внешней среды). Для наблюдения за плохо видимыми объектами использовать красящие объекты (метки).	«Прозрачность» бюджета. Открытость общества. Размещение «жучков» для подслушивания
2.1.6	Применение активных объектов	Заменить обычные объекты на более активные	Инвестиции (финансовые, материальные (оборудование), интеллектуальные). Лизинг. Активизация дилерской сети
2.1.7	Применение пассивной среды	Заменить обычную среду нейтральной. Ввести в объект нейтральные (пассивные) части.	«Замораживание» программ. Антикризисные, стабилизационные программы
2.1.8	Обратной связи	Ввести обратную связь. Если обратная связь есть – изменить ее.	Переход от реактивного управления к упреждающему и проактивному
2.2. путем перехода в подсистему			

2.2.1	Дробления	Разделить объект на независимые части, выполнить разборным, увеличить	Внутрифирменное предпринимательство – интрапренерство
-------	-----------	---	---

Продолжение табл. 1.6.6

1	2	3	4
		степень его дробления	
2.2.2	Применение композиционных материалов	Перейти от однородных материалов к неоднородным (композиционным)	Разнообразие организационно-правовых форм предприятий. Многоукладность экономик
2.2.3	Дешевая недолговечность взамен дорогой долговечности	Заменить дорогой объект набором дешевых объектов, поступившись при этом некоторыми качествами (например, долговечностью).	Все одноразовое (посуда, белье...)
3. Способ разрешения противоречия путем системных переходов в надсистеме			
3.1. путем перехода в надсистему			
3.1.1	Объединения	Соединить однородные или предназначенные для смежных операций объекты	Слияние предприятий, компаний вообще (мэрджер). Слияние автомобильных концернов в частности
3.1.2	«Обратить вред в пользу»	Использовать вредные эффекты для получения положительного эффекта. Устранить вредный фактор за счет сложения с другим вредным фактором. Усилить вредный фактор настолько, чтобы он перестал быть вредным	Использование результатов скачка доллара США по отношению к рублю после 17 августа 1998 года российскими производителями.
3.1.3	Однородности	Объекты, взаимодействующие с данным должны быть однородными (сделаны из того же материала)	«Клин клином вышибают». Совместимость компьютеров
3.1.4	Эквипотенциальности	Изменить условия работы так, чтобы не приходилось поднимать или опускать объект	Максимальное приближение предприятий переработки к месту добычи сырья. Давняя и пока не реализованная идея подземной газификации углей
3.2. путем отказа от системы и перехода к альтернативной системе			
3.2.1	Самообслуживания	Объект должен сам себя обслуживать, выполняя вспомогательные и ремонтные операции. Использовать отходы (вещества, энергии)	Самообслуживание в торговле (магазины самообслуживания)
3.2.2	Универсаль-	Объект выполняет ряд	Многопродуктовость корпораций

	ности	разных функций, благодаря чему отпадает необходимость в других объектах	(выпуск автомобилей, судов, бытовой техники, аудиовидеотехники на японских предприятиях)
--	-------	---	--

Окончание табл. 1.6.6

1	2	3	4
3.3. путем перехода к антисистеме			
3.3.1	«Наоборот»	Вместо действия осуществить обратное действие. Сделать движущуюся часть объекта неподвижной, а неподвижную – движущейся. Перевернуть объект «вверх ногами»	Размещение роботизированных металлообрабатывающих станков в Японии на потолке – уборка стружки обеспечивается силой гравитации, а с пола (под станками) сильно облегчается
3.3.2	Антивеса	Компенсировать вес объекта соединением с другим объектом, обладающим подъемной силой.	Соединение предприятия, испытывающего трудности в обновлении производства с банком (или другой кредитной организацией) – создание финансово-промышленной группы
3.3.3.	Предварительного антидействия	Заранее придать объекту изменения, противоположные недопустимым или нежелательным изменениям	«Обучающаяся организация». Обучение персонала технологиям творческого решения задач на хорошо работающем предприятии (не дожидаясь наступления ухудшения положения)

**Ресурсами** в ТРИЗ называют **средства разрешения противоречий**. Разрешение (снятие) противоречий может осуществляться только за счет ресурсов. Тот или иной способ разрешения противоречий реализуется, «прокладывает себе путь» в зависимости от наличия тех или иных ресурсов в конкретной рассматриваемой ситуации (задаче). Не сможет разрешиться противоречие путем разделения противоположных свойств во времени или в пространстве, а также переходом системы в надсистему, если для этого нет временного или пространственного ресурса, а также возможности войти в новую систему в качестве части (подсистемы).

Классификацию ресурсов и алгоритм их выбора при решении задач можно проиллюстрировать следующим образом (рис. 1.6.14).

В ТРИЗ обобщенно все ресурсы часто обозначают аббревиатурой ВПР, которая «расшифровывается» как «вещественно-полевые ресурсы». Однако в состав ресурсов входят не только вещества, поля (энергии), но и чрезвычайно значимые в настоящее время информационные ресурсы, пространство, время<sup>1</sup>, функциональные возможности систем в виде возможности реализации системой дополнительных функций (функциональный ре-

<sup>1</sup> Достаточно вспомнить знаменитую мысль К. Маркса о том, что всякая экономия в конечном счете сводится к экономии времени.

курс), нереализованный системный потенциал в виде свойств системы (системный ресурс), ресурс геометрических форм систем и их частей.

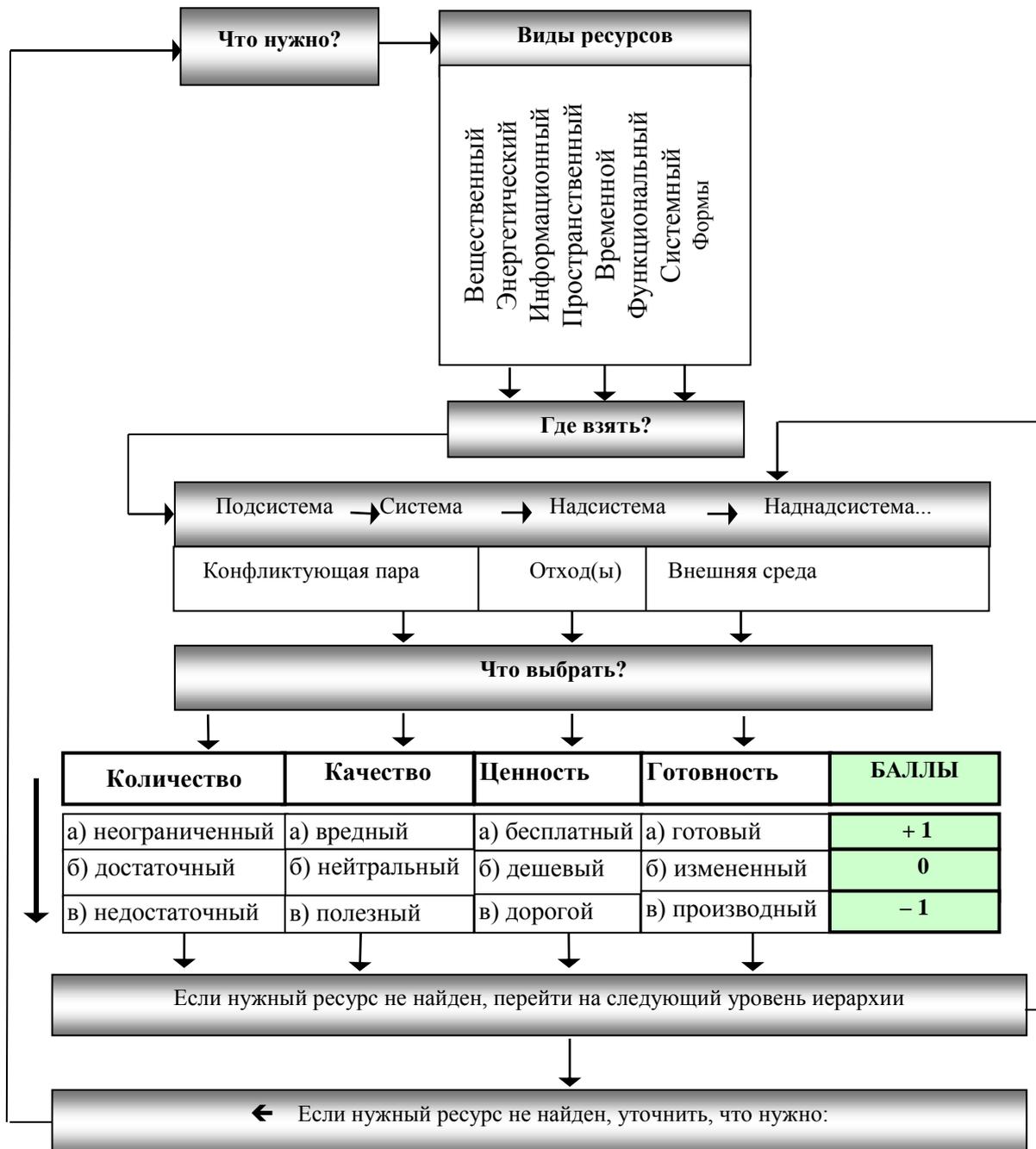


Рис. 1.6.14. Алгоритм поиска ресурсов при решении задач

Как видно из рис. 1.6.14, в качестве признаков классификации ресурсов используются следующие:

- 1) вид ресурса (вещественный, энергетический, информационный, пространственный, временной, функциональный, системный, формы);
- 2) степень его готовности к применению (готовый, производный);

3) место поиска (нахождения) ресурса (подсистема или конфликтующая пара<sup>1</sup>, система и далее выход из неё: надсистем (ближние, затем дальние); здесь обязательно надо исследовать отходы данной или других систем, а затем окружающей (внешней) среды;

4) качественная оценка ресурса (вредный, нейтральный, полезный);

5) количественная оценка ресурса (неограниченный, достаточный, недостаточный);

б) оценка ресурса по ценности (бесплатный, дешевый, дорогой).

Стрелкой на рис. 1.6.14 показана убывание предпочтительности задействия ресурсов в количественно-качественном и ценностном отношении.

Таким образом, поиск ресурсов при решении задач (анализе ситуаций) ведется с оценкой **количества, качества, ценности и готовности того или иного ресурса к использованию**, причем ряд предпочтения определяется цепочкой **а)→б)→в)** с **балльной оценкой +1, 0, -1**.

«Путеводной» звездой при выборе ресурсов, как и во всей ТРИЗ, является идеальность решения. Нужно стремиться к тому, чтобы решить задачу, не задействуя вообще ничего, т.е. никакие ресурсы. Стремясь к идеальным решениям, в первую очередь, следует обращать внимание на ресурсы, которые набирают наибольшее количество баллов. В целом же алгоритм поиска ресурсов предполагает реализацию ряда циклических процедур уточнения необходимых для решения задач ресурсов.

### 1.6.5. Критериальный аппарат оценки альтернатив

Требования по принятию решений в большинстве случаев можно свести к следующему набору критериев (рис. 1.6.15).

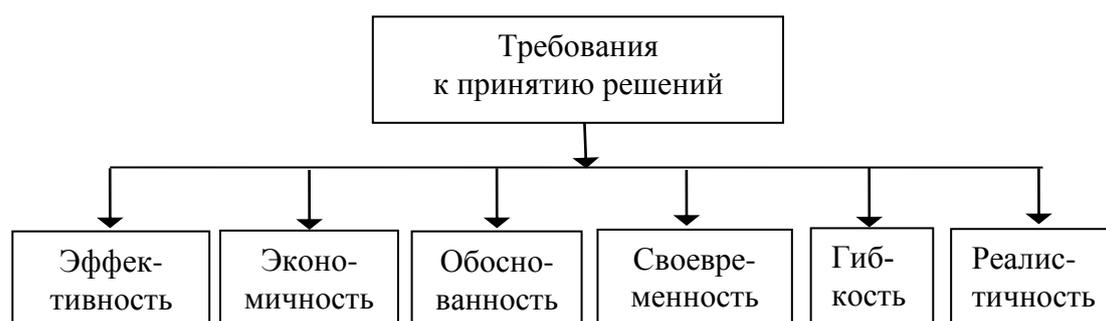


Рис. 1.6.15. Основные требования к принятию реше-

Критерий позволяет ответить на один из следующих вопросов: 1) является ли альтернатива допустимой; 2) является ли альтернатива удовлетво-

<sup>1</sup> В конфликтующей паре сначала надо задействовать ресурсы активного элемента взаимодействия («инструмента»), а затем – «обрабатываемого» элемента («изделия»)

рительной; 3) является ли альтернатива оптимальной; 4) какая из двух сравниваемых альтернатив лучше.

Каждая система характеризуется с одной стороны **эффективностью**, и совершенно с другой – **экономичностью**. Для ясности и четкости понимания А.В. Птушенко приводит красивые примеры<sup>1</sup>.

Можно заколачивать гвозди фотоаппаратом. Можно, но не нужно: это действие неэкономично (хороший фотоаппарат стоит больших денег). Весьма **экономично** заколачивать гвозди булыжником. Но неэффективно. Эффективней всего заколачивать гвозди молотком, ведь он в максимальной степени приспособлен к решению именно этой задачи. Следовательно, **эффективность есть показатель степени приспособленности системы к решению определенной задачи в определённой ситуации**.

Экономичность системы тем выше, чем ниже (при заданной эффективности) суммарные затраты на создание и эксплуатацию системы. Суммарные затраты определяются формулой:

$$Sc = Spazp + Snp + Sэ + A, \quad (1.6.4)$$

где  $Spazp = Sф + Sp + Socp + Si$  – затраты на разработку;

$Sф$  – затраты на фундаментальные исследования;

$Sp$  – затраты на прикладные исследования;

$Socp$  – затраты на опытно-конструкторские работы;

$Si$  – затраты на испытания;

$Snp$  – затраты на производство;

$Sэ$  – затраты на эксплуатацию;

$A$  – штрафная функция

Компонента  $A$  – это выраженная в деньгах плата за нерешение побочных для системы задач и за возможные потери при использовании системы (в людях, ресурсах, экологии, престиже). Яркий пример «штрафной функции» – проблема озера-моря Арал в Средней Азии (Узбекистан).

Очевидно, что **экономичность системы есть величина, обратная суммарным затратам**.

А.В. Птушенко (а он – уникален: имеет ученые степени д.э.н., д.ю.н., к.т.н.!) отмечает, что большинство экономистов не осознает принципиальную разницу между эффективностью и экономичностью; при этом для них абсолютно непонятно, что в общем случае эффективность никакого отношения к деньгам не имеет, а привычное для них словосочетание «экономическая эффективность» – просто привычная несообразность. Повторим: любая система с одной стороны характеризуется **эффективностью** — **показателем степени приспособленности системы к решению определённой задачи** (что в деньгах не выражается), и совершенно с другой стороны

---

<sup>1</sup> Птушенко, А.В. Системная парадигма права / А.В. Птушенко. – М.: Моск. издат. дом, 2004. – С. 27–28.

– **экономичностью**, то есть той ценой, которую общество вынуждено платить (в виде суммарных затрат) за решение данной задачи именно этой системой.

Причём подлинная суть (соответственно, название) как эффективности, так и экономичности полностью определяется назначением системы: если система решает боевую задачу, она обладает боевой эффективностью и боевой же экономичностью. Если задача народнохозяйственная, то эффективность и экономичность – народнохозяйственные.

Один из ведущих экспертов страны в сфере системного анализа – Ф.П. Тарасенко (Томский госуниверситет) отмечает, что **современное понимание цели управления** включает в себя как описание желаемого конечного состояния (конечной цели), так и описание всей траектории движения к нему, от нынешнего неудовлетворительного состояния (проблемной ситуации) через все необходимые промежуточные состояния (промежуточные цели, план действий, алгоритм)<sup>1</sup>. По нему, эффективное управление состоит не только в достижении конечной цели, но и в том, чтобы наилучшим (оптимальным) образом продвигаться к ней. Промежуточные цели – средства её достижения. Поэтому можно говорить об эффективности управления на разных этапах перехода от проблемной ситуации к конечной цели. В английском языке есть разные слова для этого. Так, слово **effective** обозначает, что управленец успешен в достижении конечной цели, неважно, какими средствами, а слово **efficient** означает, что он эффективно распорядился ресурсами для продвижения к цели<sup>2</sup>. Поэтому в ходе управленческой деятельности важно определиться о какой эффективности идет речь в конкретной ситуации: «по целям» или «по средствам».

Комментировать необходимость принятия обоснованных решений считаем излишним. По поводу своевременности напомним хорошую русскую поговорку: «Хороша ложка к обеду». Понятие гибкости и реалистичности в принятии решений обычно не вызывает вопросов.

**Критерии при оценке альтернатив.** Следует помнить, что при выборе альтернативы менеджер должен попытаться минимизировать риск возникновения дополнительных проблем. Важно помнить, что только после составления списка всех идей следует переходить к оценке каждой альтернативы. При оценке решений руководитель с помощью экспертов определяет достоинства и недостатки каждой из них.

Практически никогда не удастся принять решение, не имеющее отрицательных последствий. Поэтому варианты решения специально анализируются с тем, чтобы определить, какие выигрыши или проигрыши могут

---

<sup>1</sup> Тарасенко, Ф.П. О роли ошибок в управленческой деятельности / Ф.П. Тарасенко // Проблемы управления в социальных системах. – 2011. – Т.2. – № 4. – С.30–48.

<sup>2</sup> В англо-русских словарях оба термина переводятся одинаково, как «эффективный», создавая ложное впечатление об их синонимичности.

иметь место для организации, какие новые задачи могут возникнуть и каких дополнительных решений потребовать.

Если какая-либо альтернатива не может удовлетворить одному или нескольким критериям, её дальше нельзя рассматривать как возможную альтернативу. Трудности возникают при сравнении неоднотипных вариантов. Здесь каждый качественный и количественный показатель варианта решения можно представить в сопоставимых величинах. Для этого их ранжируют: оценивают все показатели в баллах по определенной шкале или присваивают каждому показателю определенный весовой коэффициент.

Часто для оценки альтернатив применяют стратегию суммирования рангов. Прежде всего, производится **ранжировка** – каждому показателю каждой альтернативы присваивается определенное место в соответствии с его предпочтительностью. Затем все показатели каждой альтернативы суммируются, и предпочтение отдается альтернативе, набравшей наименьшую сумму рангов. Часто применяется стратегия минимизации отклонений. Идея состоит в том, чтобы выбрать альтернативу, у которой максимальных отклонений от лучших показателей было бы меньше.

Если проблема была правильно определена, а альтернативные решения взвешены и оценены, сделать выбор – то есть принять окончательное решение – сравнительно просто. Ряд рекомендаций по этому поводу дает Джон Диксон из США<sup>1</sup>. Они сводятся к следующему:

1) если больше не осталось альтернатив, нужно приложить больше творческих усилий для составления нового списка альтернатив;

2) если исключены все критерии, влияющие на выбор альтернатив, следует воспользоваться случайным выбором, чтобы остановиться на одной альтернативе из числа оставшихся;

3) если осталась только одна альтернатива, то решение будет принято совершенно субъективно. Если вас это не устраивает – вернитесь назад, но не будьте придирчивы к тем альтернативам, которые ранее показались вам неприемлемыми;

4) если останется один критерий, влияющий на выбор, то не представляет труда отыскать наилучшую альтернативу. Если отбор по критериям проводился осторожно, то можно считать, что решение принято;

5) если ситуация остается все ещё сложной и возможен лишь субъективный подход, а применение научных методов принятия решений невозможно, то необходимо вернуться к выполнению п.2, стараясь четко представить себе причины исключения различных альтернатив.

**Формы шкал качественных критериев.** Известны шкалы: числовая, частотная, абсолютная оценочная, относительная оценочная. При выборе формы шкалы важно знать их достоинства и недостатки (табл. 1.6.7).

---

<sup>1</sup> Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений / Дж. Диксон: пер. с англ. – М.: Мир, 1969. – 440 с.

Выбор формы шкалы

Форма	Достоинства	Недостатки
Числовая	Простота интеграции	Создает иллюзию точности
Частотная	Оценки частоты объективны	Применима не везде
Абсолютно оценочная	Высокая степень гибкости	Нечеткость определений позиции
Относительно оценочная	Менее эмоциональная терминология	Годится только при условии, что стандарты установлены заранее

К примеру, частотные шкалы имеют следующие значения: всегда, обычно, часто, иногда, редко, регулярно, часто, по случаю, редко.

Значениями абсолютных оценочных шкал являются оценки: выдающееся, превосходное, квалифицированное, удовлетворительное, маргинальное, вне конкуренции, хорошее, приемлемое, нуждается в улучшении.

Перечень относительных оценочных шкал включает: значительно превосходит стандарты, превосходит стандарты, соответствует стандартам, частично соответствует стандартам, не соответствует стандартам, намного превосходит требования, соответствует требованиям, частично соответствует требованиям, не соответствует требованиям.

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные блоки методов системной последовательности принятия решений.

2. Дайте характеристику распространенным методам диагностики проблем (интеллект-карт Т. Бьюзена, диаграмм К. Исикавы)

3. Поясните, в чем состоит особенность диагностики проблемных ситуаций при построении причинно-следственных сетей (ПСС) из нежелательных эффектов (НЭ).

4. Дайте характеристику основных методов генерации альтернатив (методов: контрольных вопросов, мозгового штурма, морфологического анализа, фантограммы Г. Альтшуллер, матриц Р. Повилейко, каталога и фокальных объектов, синектики)

5. Охарактеризуйте место ТРИЗ среди множества существующих методов генерации идей.

6. Поясните схему решения задач по алгоритму решения изобретательских задач (АРИЗ) в ТРИЗ. Как в реальности осуществляется движение к области сильных решений при использовании метода проб и ошибок (МПиО). Каковы направления векторов идеальности и психологической инерции?

7. Что понимается под идеальным решением (идеальным конечным результатом – ИКР) в ТРИЗ?

8. Раскройте смысл формулы (показателя) идеальности систем, используемой в ТРИЗ.

9. Поясните, что такое противоречие и чем различаются эти понятия в формальной и диалектической логиках.

10. Как выглядит модель-шаблон противоречия в статике и динамике?

10. Поясните, как связано противоречие с цикличной жизнью всех систем (по общей теории цикла (ОТЦ) Ю.Н. Соколова).

11. Поясните, что понимается под разрешением противоречия и назовите укрупненные блоки способов разрешения (снятия) противоречий в мире систем.

12. Как разрешение противоречий связано с функциональной природой систем (однородные, альтернативные, разнородные, антисистемы) и поясните, почему почему разнородные системы не вовлечены в процессы разрешения (снятия) противоречий.

13. Дайте характеристику группировки приемов разрешения противоречий по способам их разрешения в пространстве-времени и в структурной иерархии систем.

14. Что понимается под ресурсами в ТРИЗ и почему для этого используется аббревиатура ВПР?

15. Назовите ключевые признаки классификации ресурсов в ТРИЗ.

16. Поясните, как «работает» алгоритм поиска ресурсов при решении нестандартных задач в ТРИЗ и как осуществляется выбор предпочтений при оценке ресурсов в количественном и качественном отношениях, а также по ценности и готовности к использованию?

17. Для чего формулируются критерии принятия решений? Какие критерии чаще всего используют при оценке альтернатив?

18. Что понимается под эффективностью и экономичностью систем по взглядам А.В. Птушенко? Почему следует различать эффективность «по целям» и «по средствам»?

19. Каковы рекомендации Джона Диксона по поводу работы с альтернативами при принятии решений?

20. Назовите основные формы шкал качественных критериев и дайте пояснения этим шкалам.

## **ТЕМА 1.7. ПОНЯТИЕ О СПОСОБАХ, ПОДХОДАХ И СТИЛЯХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

### **1.7.1. Сущность существующих способов принятия решений**

Обычно в принятии любого решения присутствуют в различной степени **три момента: интуиция, суждение и рациональность**. Поэтому важно понять их сущность. Чисто интуитивное решение – это выбор, сделанный только на основе ощущения того, что он правилен. Для интуитивных ре-

шений не требуется анализа ситуации. В мозг человека поступает так много информации, что сознание не успевает обработать её целиком (см. модель взаимодействия человека с окружающим миром). Из почти миллиарда бит (около  $10^9$ ), попадающих за секунду в мозг человека лишь 120–140 бит идет в сферу сознания. Поэтому сознание ограничивается крупными элементами, составляющими смысл события. Более мелкие детали, попадают в подсознание, минуя сознательное восприятие. Именно там складывается полная картина ситуации и практически мгновенно выбирается единственно правильный выход.

Ученые полагают, что **интуиция** – это таинственная обработка информации в подсознании. Когда человек откладывает какую-либо работу, чтобы дать мыслям «созреть», то он прямо рассчитывает на работу мышления на подсознательном уровне. При этом сам процесс обработки информации не осознается, а «входит в сознание» лишь его результат. Подсознание невозможно отключить, оно продолжает функционировать и тогда, когда мы заняты другими делами. Писатель М. Зощенко, когда у него не выходило какое-то место в рассказе, откладывал работу на утро (по аналогии с выпечкой в кулинарном деле) со словами: «Ничего, в духовке дойдет».

Предполагается, что интуиция находит решение, когда человек исчерпал все возможные варианты, но не потерял интерес к задаче. Когда он освободился от шаблона, убедился в его непригодности и вместе с тем сохранил ещё увлеченность задачей, интуитивная подсказка дает оптимальный эффект. Чем более схематизирована проблема, тем вероятнее интуитивное нахождение решения. Оно скорее приходит в случаях, когда человек осмысливает непривычную проблему, для решения которой у него ещё не сложились стереотипы и не автоматизировались навыки.

То, что мы называем озарением или «шестым чувством», и есть результат интуитивного решения. Специалист по управлению Питер Шодербек указывает, что, «в то время, как увеличение количества информации о проблеме может оказывать заметную помощь в принятии решений руководителям среднего звена, представителям высшего эшелона власти по-прежнему приходится опираться на интуитивные суждения. Более того, ЭВМ позволяют руководству уделять больше внимания данным, но не отменяют освященного временем управленческого интуитивного ноу-хау».

Пифагор был убежден: чтобы познать суть, меру и связь явлений, надо пробудить интуицию – волшебное и необъяснимое свойство. Оно помимо воли человека, помогает ему проникнуть мысленным взором в загадочный механизм, управляющий вселенной. Интуитивный способ принятия управленческих решений одновременно и труден, и легок. Труден потому, что требует большого опыта и знаний, а легок – т.к. не нуждается в сложных вычислениях. Полностью доверяться интуиции не следует, она должна дополняться критической оценкой интуитивного умозаключения. Связано это с тем, что интуитивные умозаключения могут быть истинными, а могут

быть и ложными. В основе ошибочных интуитивных умозаключений лежат психологические причины и особенности восприятия людей.

Одна из частых ошибок интуиции – **игнорирование законов математической статистики**, в частности, неправильная оценка случайностей. Интуиция склонна рассматривать последовательность случайных событий как самокорректирующийся процесс, в котором отклонение в одну сторону влечет за собой отклонение в другую для восстановления равновесия.

Другая частая ошибка интуиции – **пренебрежение размерами выборки**. Ограниченное число событий, на основе которых делаются умозаключения, приводит к ошибочным выводам.

Нередко ошибается интуиция при оценке частоты тех или иных явлений. Это **связано с особенностями человеческой памяти фиксировать яркие**, из ряда вон выходящие явления и события или те, которые сопровождались повышенным эмоциональным возбуждением. Подобные события легче воспроизводятся памятью и кажутся более частыми.

Типичная ошибка интуиции связана с **оценкой вероятности сложных событий** на основе интуитивного заключения о вероятности элементарного события.

Интуиция подводит и в случаях **«мнимых корреляций» двух событий**. Суждение о том, как часто совпадают два события, основывается на том, насколько сильна в памяти ассоциированная связь между ними. Но сила этой связи определяется не только частотой совпадения событий, но и эмоциональной окраской, сравнительной неравномерностью совпадения и т.п. Поэтому интуитивные заключения о частоте совпадения двух событий, основанные на силе ассоциативной связи, нередко оказываются ложными.

К недостаткам интуиции относятся: 1) отсутствие доказательной силы; 2) это решения здравого смысла, который, как правило, консервативен (стереотипность мышления не всегда приводит к успеху); 3) интуитивные догадки могут быть ложными (об этом редко вспоминают когда «озарения» верны, а об ошибочных – забывают); 4) доступность использования интуиции может привести руководителя к ложным выводам.

**Решения, основанные на суждениях (работа по аналогии<sup>1</sup>)**. Это выбор, обусловленный знаниями и накопленным опытом. Менеджер использует знания о том, что случалось в аналогичных ситуациях ранее для того, чтобы спрогнозировать результат альтернативных вариантов выбора в существующей ситуации. Опираясь на здравый смысл, руководитель выбирает альтернативу, которая приносила успех в прошлом. Суждения – это мыслительная работа, и решения, основанные на суждениях, принимаются

---

<sup>1</sup> Аналогия (от греч.) означает «подобие». Синоним аналогии – традукция, с латыни – «перемещение». По характеру вывода традукция может быть 3 типов заключений: от единичного к единичному, от частного к частному, от общего к общему.

быстро и не требуют дополнительных затрат. **Большинство решений руководителей среднего и низового звена основаны на суждениях.**

Способность применять навык, приобретенный при решении одной задачи к решению другой, существенна для руководителя. Для этого необходимо научиться подмечать в решаемой задаче, что сможет пригодиться и в будущем при решении других задач. Метод аналогии особенно действенен при использовании собственного опыта путем сопоставления возникшей задачи с некогда успешно решенной аналогичной проблемой. При решении технических и организационных проблем используют прямую, личную и биологическую аналогии (см. метод синектики).

Слабой стороной решений, основанных на суждениях, является их **субъективность**, которая обусловлена как характером руководителя, так и его личной компетентностью, определяемой опытом и образованием. Устранить субъективизм, существенно повысить вероятность правильного выбора, можно только подходя к решению рационально.

**Рациональные решения.** Руководители принимают неверные решения если им не удастся собрать необходимую информацию или они не до конца продумали последствия своих решений. Иными словами, они пренебрегли системным подходом. В основе рационального решения лежит прежний опыт и объективный анализ условий, в которых организация действует в настоящий момент. Такое решение принимается в несколько этапов.

**1. Идентификация проблемы.** Прежде чем попытаться решить проблему, руководителю необходимо осознать, что проблема действительно существует. Организация – сложная система, поведение которой зависит от большого числа взаимосвязанных факторов, каждый из которых может стать причиной проблемы. Достаточно часто проблемы возникают как результат совместного действия различных по своей природе факторов. Это явление называют эффектом **отрицательной синергии**. При этом несколько факторов как бы накладываются друг на друга и образуют настолько неблагоприятное сочетание, что эффективность организации резко падает (см. раздел построение ПСС из НЭ). Общими симптомами «болезни» организации являются: низкие – прибыль, объем продаж, качество товаров и услуг, производительность труда; высокие – издержки, текучесть кадров, многочисленные конфликты.

Зачастую наиболее очевидные симптомы в наименьшей степени проясняют суть проблемы. Руководство может выявить проблему очень высоких производственных затрат и приступить к разработке программы их сокращения в то время как реальной проблемой может быть непродуманная конструкция выпускаемого изделия, технология его производства или плохое планирование сбыта. Таким образом, первоочередная задача процесса принятия решений – выявление **реальной** проблемы.

**2. Определение цели.** В конечном итоге идентификация проблемы, её диагностика, анализ, завершаются определением цели принятия решения.

На практике часто бывает так, что цель представляется слишком отдаленной по времени или «дорогой» для достижения по ресурсам, или же порождающей потенциально новые сложные проблемы. Достижение общей цели может потребовать принятия многих решений, в результате диагноза проблемы могут быть установлены несколько причин возникновения. Каждая из них представляет собой самостоятельную подпроблему, для решения которой необходимо сформулировать соответствующую подцель, которая, в свою очередь, может иметь несколько причин. Поэтому соответствующие подцели разделяются на ещё более частные цели, достижение которых решает «вышестоящую» проблему. Этот процесс – построение «дерева целей», он продолжается, пока мы не дотянемся до «корней» исходной проблемы (её причин). Знание цели помогает сформулировать критерии и условия решения, а также выбрать способы её достижения.

**3. Формулирование ограничений и критериев принятия решения.** Перед тем, как выявлять возможные пути решения проблемы, надо проанализировать имеющиеся у организации ресурсы, которые могут потребоваться при принятии и реализации управленческих решений, и сформулировать соответствующие ограничения. Многие возможные решения могут быть не реалистичными, т.к. или у руководителя (организации) может быть недостаточно ресурсов для их реализации.

В качестве ограничений могут выступать находящиеся вне организации силы – законы, нормативные акты, которые руководитель не волен изменить – это **объективные ограничения**. Однако **самым важным ресурсом являются люди**, которые и будут воплощать в жизнь принятое решение. Их кругозор, компетентность, квалификация и понимание ситуации определяют – будет или не будет выполнено **задание**.

С временной точки зрения необходимо учитывать, что **практически все управленческие решения принимаются в цейтноте**, т.е. в практике хозяйствования для подготовки принятия решений выделяется меньше времени, чем необходимо для полного использования всех знаний или всей информации о проблемной ситуации.

Управленческие решения целесообразнее принимать **на начальной стадии роста проблем**. По аналогии с медициной проблемы легче предотвратить, чем решать, а это требует развитого умения предвидеть (прогнозировать) ход развития процессов. Кроме выявления ограничений руководителю необходимо определить **критерий принятия решений** – стандарты, по которым предстоит оценивать альтернативные варианты выбора.

Вовлечение руководителей в аналитическое исследование проблем – важный фактор успеха. Участие руководителя в формировании критериев, определении и ранжировании целей решающим образом сказывается на внедрении результатов. В 80% случаев разработки, выполненные с привлечением руководителя, находят практическое применение, это в 2 раза превышает значение показателя внедрения разработок без их участия.

**4. Разработка альтернативных решений.** Она нацелена либо на устранение, ограничение того, что не желательно, но существует, либо на приобретение того, что желательно, но отсутствует. Считается, что второй метод более продуктивен, т.к. избавление от нежелательного вовсе не означает приобретение желательного. Разработка альтернатив – исследовательский процесс, связанный с получением информации и анализом факторов внутренней и внешней среды. Хотя это потребует дополнительных затрат времени и средств, тем не менее позволяет выявить широкий круг вариантов решения проблемы. Минимальное количество рассматриваемых вариантов, исходя из практики, **не может быть менее трех**. В некоторых случаях, касающихся закупки дорогостоящего оборудования, технологий, лицензий, при заключении контрактов устанавливается обязательная проработка вариантов не менее, чем с тремя поставщиками.

Поиск альтернативных вариантов – важный компонент процесса принятия решений, поскольку вероятность выбора наиболее предпочтительного варианта возрастает. Один из путей расширения круга вариантов решения – стимулирование творческого подхода при их разработке, в том числе с использованием методов **коллективного генерирования идей** (см. раздел о методах генерации идей). Вместе с тем, согласно теории принятия решений ни один управляющий не исследует всех альтернатив, а заканчивает свои поиски, когда обнаружено скорее не лучшее, а **удовлетворительное решение**. Поиск других альтернатив идет лишь в случае, если ни одна из альтернатив не оказывается удовлетворительной.

Решение не принимать никаких действий – тоже альтернатива, которую редко учитывают при разработке управленческого решения. В составе категорий даосизма есть **категория «недеяния»** (у-вэй – буквально «недеяние» – понимание того, когда надо действовать, а когда бездействовать. Даосы советуют: «Не старайся изо всех сил достать удачу». Неодобрение деятельности без обдумывания видно в русских пословицах типа «Поспешишь – людей насмешишь» или «Дурная голова ногам покоя не дает».

**5. Оценка альтернативы.** Руководитель определяет достоинства и недостатки альтернатив и последствия, которые могут иметь место для организации. Оценивая альтернативы, можно использовать три критерия (риск, экономия усилий, фактор времени) для выбора лучших решений.

**Риск.** Необходимо сравнить возможный риск и ожидаемый выигрыш от каждого из вариантов решения.

**Экономия усилий.** Надо отбирать альтернативы, которые обещают наилучшие результаты при наименьших усилиях, обеспечивают проведение требуемых изменений с наименьшими потерями для организации.

**Фактор времени.** Оперативные решения должны приниматься в короткие сроки, иногда мгновенно. По перспективным вопросам торопливость недопустима, т.к. необходимо взвесить все обстоятельства, собрать

недостающую информацию, а затем сформулировать конечное решение и пути его достижения. Все это повысит эффективность решения.

**6. Выбор лучшей альтернативы** с максимальными положительными или минимальными отрицательными последствиями. Если принимаемое решение может быть выражено в количественных показателях, то сначала из них отбираются лучшие по техническим параметрам, а затем на основе экономических критериев минимума затрат или максимума эффекта определяется окончательный вариант.

**7. Согласование основных положений решения с исполнителями и заинтересованными лицами**, т.е. с теми, кого оно непосредственно затрагивает. В организациях из-за разделения труда одни работники готовят и разрабатывают решение, другие – утверждают его, а третьи – претворяют в жизнь. Чтобы решение было реализовано, необходимы скоординированные действия всех членов организации. Согласование документально закрепляет обязательства, связанные с выполнением решения, и предотвращает конфликты. При несогласии руководителя с отдельным решением необходимо подготовить убедительное обоснование своего возражения с количественными и качественными выкладками. Рекомендуется доводить до каждого исполнителя имеющиеся предполагаемые обязанности, целесообразность выгод и преимуществ, которые последуют в связи с их вводом в действие, а также указывать на их обоснованность.

Согласование решений необходимо проводить как вертикально, так и по горизонтали управленческой иерархии. Иногда руководитель допускает ошибку в своих действиях, проводя линию субоптимизации, возникающей при игнорировании мнения руководителей и специалистов других подразделений при принятии без согласования с ними решения или при проведении каких-либо других действий, что оказывает влияние (чаще отрицательное) на результаты труда. Необходимо учитывать, что рано или поздно исполнитель все равно узнает о решении, затрагивающем его интересы, однако ввод его в действие значительно осложнится.

**8. Утверждение решения у руководителя организации**, поскольку только руководство распоряжается ресурсами, нужными для его реализации, и несет за них персональную ответственность. Принимая решение, руководитель наряду с количественными результатами должен учитывать множество обстоятельств и соображений качественного характера, которые редко удается свести к однозначным ответам. Однако надо остановиться на одном варианте, прийти к единственному решению. Процедура утверждения решения – формальность по сбору подписей, т.к. на предыдущих этапах механизма формирования решения отыскивался, по существу, наилучший вариант и способ его осуществления. Необходимость выполнения этой процедуры обусловлена требованиями законности, указывающими, что решение достигло такого пункта, когда все члены коллектива, привлекаемого к решению проблемы, взяли на себя определенную от-

ветственность. Лишь после того, как решение утверждено, оно превращается в документ, обязательный для исполнения всеми.

**9. Управление реализацией решения.** Необходимо предусмотреть: кто, где, когда и какие действия должен предпринять для реализации управленческого решения и какие для этого необходимы ресурсы.

**10. Контроль за реализацией и оценка результатов.** Контроль выполняет функцию обратной связи. На этом этапе производится оценка последствий решения или сопоставление фактических результатов с теми, которые руководитель надеялся получить.

### 1.7.2. Базовые подходы в сфере принятия решений

В рамках теории принятия решений для разработки моделей используются два подхода: **нормативный** и **декриптивный** (описательный). Первый подход сформировался и развивался математиками и кибернетиками и была ориентирована в основном на решение задач в технических системах. Он основан на предположении, что все ЛПР являются «экономически мыслящими» людьми. Поэтому **нормативная модель** принятия решений основывается на экономических предположениях: 1) ЛПР стремится к достижению известных и согласованных целей (проблемы определены и точно сформулированы); 2) ЛПР стремится к определенности, получению всей необходимой информации, просчитываются все варианты и возможные последствия; 3) известны критерии оценки альтернатив (ЛПР выбирает вариант, который несет наибольшую экономическую выгоду для организации); 4) ЛПР действует рационально и логически подходит к оценке вариантов, расстановке приоритетов, его выбор, наилучшим образом соответствует достижению целей организации.

Однако в реальной жизни ЛПР, как отмечают специалисты, в частности Е.П. Голубков, не всегда стремится максимизировать экономический результат. Вместо этого ЛПР принимает «удовлетворительные», «достаточно хорошие» решения. При принятии решений могут использоваться такие критерии, как «приемлемая величина прибыли», «надежное выполнение плана» и т.п.

**Ценность модели** – в побуждении менеджеров к рациональным решениям. Цель применения нормативных моделей – выбор наилучших действий (альтернатив) исходя из заданного критерия и ситуации, в которой принимается решение. Нормативные модели делают акцент на том, как ЛПР должно подходить к принятию решений, чтобы добиться достижения поставленных целей, какие методы обоснования решений целесообразно использовать. Основным акцентом в этой концепции делается на **разработке математических методов, моделей и алгоритмов выбора решений** (обсуждению этих вопросов посвящен второй раздел пособия).

**Дескриптивные (описательные) модели** основываются на эмпирических наблюдениях, они содержат небольшое количество элементов и в упрощенной форме объясняют экономические соотношения. В основе этих моделей лежит **поведенческая теория принятия решений**. Дескриптивные модели описывают реальный процесс принятия решений в трудных ситуациях (незапрограммированные решения и ситуации неуверенности и неопределенности), когда менеджеры, даже если они захотят, не могут принять экономически рациональное решение.

Предположения, на которых основывается эта модель: 1) цели решения, как правило, не отличаются определенностью, находятся в конфликте друг с другом (менеджеры часто не подозревают о существующих в организации проблемах и возможностях); 2) рациональные процедуры используются далеко не всегда, а если и применяются, то ограничиваются упрощенным взглядом на проблему; 3) границы поиска менеджерами различных вариантов определяются человеческими, информационными и ресурсными ограничениями; 4) большинство менеджеров довольствуются скорее приемлемыми, нежели максимизирующими решениями. Отчасти это происходит из-за ограниченности имеющейся у них информации, отчасти – из-за нечеткости критериев максимизации.

Дескриптивная модель носит описательный характер, отражает реальный процесс принятия управленческих решений в сложных ситуациях, а не диктует, как следует принимать их в соответствии с теоретическим идеалом, в ней учитываются человеческие и иные влияющие на рациональность выбора ограничения. **Недостатком модели является то, что практически не используются математические методы.**

Одним из основных понятий теории принятия решений является **модель рационального выбора**, возникшая в микроэкономике (рис. 1.7.1). Согласно этой модели (как уже освещалось выше) процесс принятия любого решения проходит следующие стадии: 1) определение (идентификация) проблемы, подлежащей решению; 2) сбор фактов; 3) определение множества возможных решений; 4) анализ возможных решений; 5) выбор лучшей стратегии. При этом все варианты выстраиваются от наиболее до наименее предпочтительного, а затем выбирается наилучший вариант.

В исследованиях по теории принятия решений подчеркивается, что в организациях решение редко бывает результатом мыслительной деятельности отдельного индивида, стремящегося предельно увеличить свое благосостояние. Гораздо чаще в принятии решений участвует целая группа. При этом процессы группового мышления очень сильно отличаются от тех, которые описывает теория рационального выбора. Ведь различия в интересах и ценностях между людьми, составляющими группу, делают само понятие «рационального выбора» расплывчатым. При этом ценности, которые будут иметь одни и те же исходы для разных действующих лиц, могут существенно различаться (то же самое касается склонности разных

людей к риску). Нормы, управляющие функционированием организации, также часто затрудняют принятие оптимальных решений: наиболее компетентный член группы нередко занимает в ней подчиненное положение и его или ее голос не играет большой роли при разработке стратегии.

Наконец, цели и потребности организации и составляющих её частей чаще всего носят сложный и противоречивый характер, что опять же делает модели, ориентированные на **рационального индивида**, малоприменимыми (примером принятия группового решения, обернувшегося катастрофой является решение запустить содержащий существенные неисправности космический корабль «Челленджер» в США).

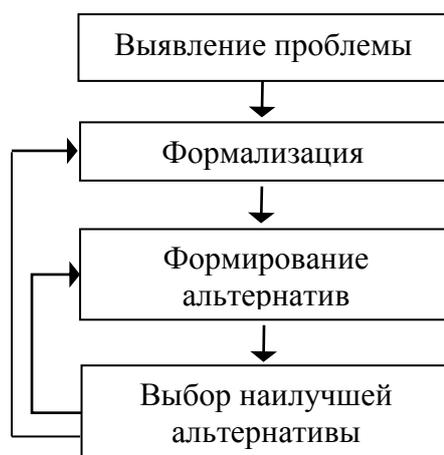


Рис. 1.7.1. Рациональная модель процесса принятия решений

В качестве примера волевого административного решения из опыта освоения космоса в СССР можно назвать ситуацию по аппарату для освоения Луны. Когда множественные споры советских ученых о состоянии поверхности Луны – твердая или мягкая (толстый слой пыли) стали вести к откладыванию процесса принятия решения по проектированию и изготовлению посадочного модуля данного космического аппарата, С.П. Королев, как генеральный конструктор, взял лист бумаги, написал на нем вердикт: «Грунт на Луне – твердый» (в пользу худшего варианта развития событий) и поставил свою подпись этим решением. После этого дело пошло.

Гербер Саймон утверждал: принятие решений, полностью соответствующих идеалам рациональности, невозможно по причинам того, что: 1) организации никогда не имеют достаточно времени и средств, чтобы собрать действительно все необходимые данные и предсказать все вероятные исходы; 2) а возможности человеческого мозга не позволяют рассматривать проблему сразу со всех сторон. В результате появилась концепция Саймона об «ограниченной рациональности» (bounded rationality), согласно которой наиболее эффективной стратегией принятия решений является выбор **первого вполне удовлетворительного варианта** (даже если известно, что он не является оптимальным).

**Политическая (коалиционная) модель принятия решений (модель Карнеги,** названа в честь университета Карнеги-Меллон). Модель применяется в стрессовых, конфликтных ситуациях, требующих принципиальных новаций в ведении бизнеса. Она была сформулирована Г.А. Саймоном, Дж. Марчем, Р. Кайертом. В их работах доказывается, что в организациях менеджеры могут сделать свой выбор стратегии только **в коалициях** – неформальных альянсах между несколькими менеджерами, одинаково представляющими себе цели организации и приоритеты проблем. Модель используется, как правило, для принятия непрограммируемых решений в условиях ограниченности информации и отсутствия единого мнения о том, какую цель преследовать или какую линию поведения выбрать.

Создание коалиции менеджеров необходимо по двум причинам: 1) цели не ясны и не совместимы и менеджеры не могут прийти к единому мнению о приоритетах проблем; 2) менеджеры не обладают достаточным временем, средствами и интеллектуальными возможностями для идентификации проблемы. Создание коалиции способствует выработке решений, которые поддерживаются всеми заинтересованными сторонами.

Модель Карнеги наиболее близка к реальным условиям, в которых работают менеджеры и все прочие, принимающие решения лица: решения сложны и требуют участия многих людей, информация зачастую не позволяет прийти к однозначным выводам, а несогласие и даже конфликт относительно решения проблемы является привычным явлением. Цели и альтернативы вырабатываются в ходе дебатов. Решения являются результатом дискуссий и «переговоров» между членами коалиций.

**Инкременталистская модель** (модель процесса принятия решения в правящей структуре). Исходит из того, что решения обычно плохо согласуются с реальной ситуацией. Разработана Чарлзом Линдбломом (Йельский университет) и опубликованная в статье «Наука доводить дело до конца» («The Science of Muddling Through», 1959 г.) и в более поздних книгах. Линдблом констатировал: все организации, особенно относящиеся к государственной системе, склонны к принятию осторожных и умеренных решений. **Радикальные меры**, даже если они формально абсолютно рациональны, имеют тенденцию создавать внутреннюю нестабильность. Реформы небольшими шагами, каждый из которых меняет положение вещей не очень существенно, и поэтому не несет в себе риска совершить фатальную ошибку (Линдблом назвал такую стратегию «инкременталистской» от английского слова increment – «шаг, постепенное возрастание»).

Инкременталистская модель утверждает: политики принимают решения исходя не из идеальной умозрительной идеи, **а из сиюминутной политической ситуации.** Оценивается или принимается во внимание лишь малая часть вероятных вариантов. Инкрементализм критикуют за то, что он может быть использован лишь тогда, когда реальная политика воспринимается большинством положительно; причины затруднений неизменны,

а ресурсы не иссякают, т.е. в условиях редкой социальной стабильности. Линдблом тем не менее считал, что в наиболее устойчивых политических образованиях всегда есть место инкрементализму, чем, видимо, объясняется большая часть процедур принятия бюджетных решений в западных странах. Данная модель менее пригодна, если на процесс принятия решений влияют исключительные обстоятельства (война, экономический кризис). Основное решение по инкременталистской модели состоит из серии «мелких» выборов, т.к. организация проходит через несколько ключевых точек процесса принятия решений, где возможно столкновение с «барьерами», их Г. Минцберг (университет МакГилла, г. Монреаль) назвал прерываниями процесса решения.

Прерывание процесса принятия решения означает, что организация должна вернуться к предыдущим решениям и повторить цикл, стараясь предложить какие-то новые варианты действий (альтернативы). Эти циклы, или «петли», по Г. Минцбергу, процесса поиска решения являются одним из способов обучения персонала организации, нахождения понимания того, какие альтернативы, решения необходимо реализовать (рис. 1.7.2). Так, например, процесс принятия решения о строительстве нового завода имеет циклический характер, прерываемый новыми событиями. Он проходит круг за кругом, пока не возникает окончательное оптимальное решение.

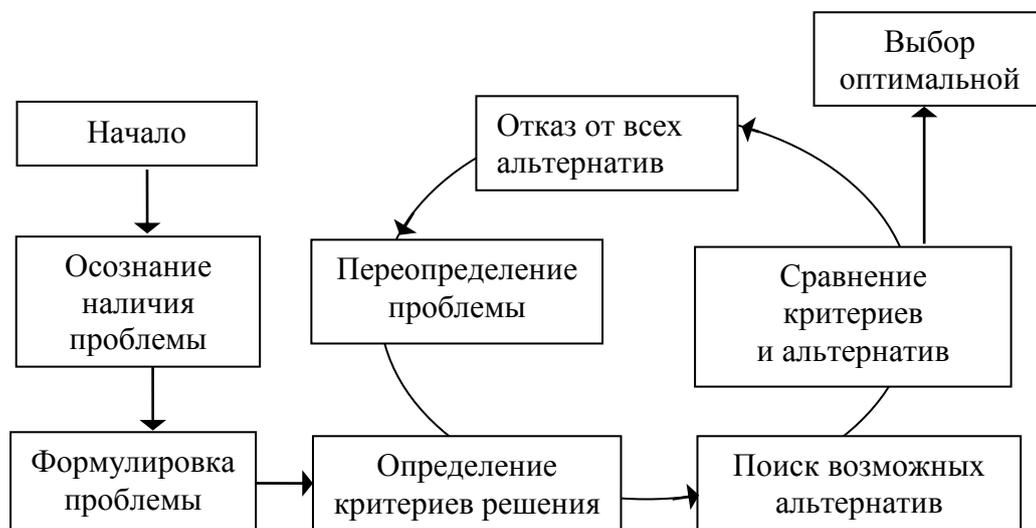


Рис. 1.7.2. Циклическая модель процесса принятия решений

Нередко решения возникают не из последовательной цепочки логических рассуждений, а вследствие внезапного озарения, которому может предшествовать длительный анализ (рис. 1.7.3). В реальной жизни процесс принятия решений гораздо более чувственный, чем мы привыкли думать, потому, что немалая часть его лежит за пределами нашего сознания.

Как в истории науки было важно подметить влияние одних объектов на другие (фиксация А. Флемингом эффекта убийства бактерий плесенью и открытие пенициллина), так же и для стратегических решений в бизнесе принципиально первыми увидеть то, чего не видят другие. Не случайно ступени «подготовка – инкубация – озарение – верификация» являются ключевыми ступенями творчества в теории гештальт-психологии.

Мысль порождает действие, но и действие также может породить мысль, поэтому рассмотрев любую компанию, успешно справившуюся с развитием нового направления бизнеса, можно увидеть компанию, которая всему училась на собственных действиях (см. рис. 1.7.3).

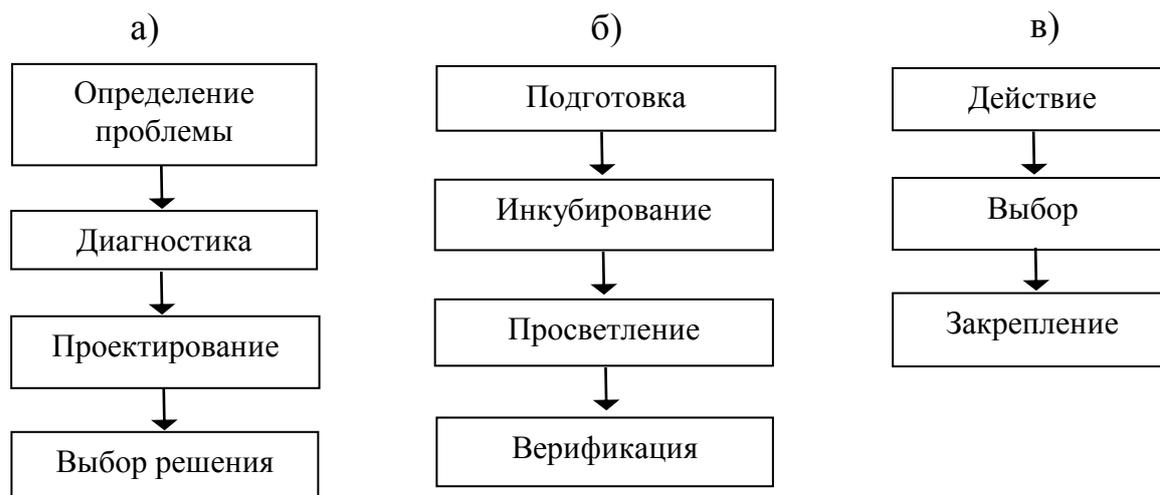


Рис. 1.7.3. Модели Г. Минцберга:  
а) «Сначала думаю»; б) «Сначала вижу»; в) «Сначала делаю»

Часто действия способны вскрыть то, чего не могут показать ни слова, ни цифры. Известно, что Айседора Дункан, основательница современного балета, как-то сказала на этот счет: «Если бы я смогла это сказать, мне уже не нужно было это танцевать».

Каждый из предложенных Г. Минцбергом подходов имеет свои сильные и слабые стороны, что можно видеть при их сравнении (табл. 1.7.1).

По мнению Г. Минцберга и Ф. Уэсли<sup>1</sup> неоспоримое преимущество имеет модель, сочетающая одновременно все три подхода к принятию решений. Ведь видение способно дать яркий образ, мышление – выстроить структуру, а действие – произвести необходимую энергию.

**«Смешанное сканирование».** Амитаи Этциони (университет Джорджа Вашингтона, США) предложил модель, названную им «смешанным сканированием» и представляющую собой компромисс между инкрементализмом и рациональным выбором. Он основывался на том соображении, что

<sup>1</sup> Mintzberg, H. Decision making: It's not what you think / H. Mintzberg, F. Westley // MIT Sloan Management Review, Vol. 42 No. 3, Spring 2001, pp. 89–93.

не все проблемы одинаково важны и не во всех случаях попытка принять подлинно оптимальное решение оправдана по чисто экономическим причинам. Политикам, как утверждал Этциони, следует определить, какие задачи для них наиболее существенны, и пытаться их решить как можно более рационально. Однако после того как стратегические решения приняты, более мелкие тактические вопросы можно решать и на основании принципа, описанного Линдбломом.

Таблица 1.7.1

Области эффективной работы моделей Г. Минцберга

Модель	Условия эффективности	Пример
«Сначала думаю»	Проблема очевидна, данные надежны, контекст структурирован, мысли могут быть точно и ясно выражены, дисциплина налажена	В установившемся производственном процессе
«Сначала вижу»	существует возможность следовать такому решению, коммуникация играет существенную роль, и есть возможность расширить ее границы	В процессе развития нового продукта
«Сначала делаю»	ситуация нова и запутана, сложные детали можно прояснить лишь в ходе реализации, несколько простых правил взаимоотношений могут помочь людям двигаться вперед	В случае выхода компании на новый рынок или появлении в её отрасли новой, «взрывной» технологии

**Модель «мусорного ящика»** была разработана Майклом Коэном, Дж. Марчем, Дж. Олсеном с целью объяснения схемы принятия решений в условиях крайней неопределенности, которые вышеназванные авторы определили термином «организованная анархия». «Организованная анархия» не полагается на нормальную вертикальную иерархию и рациональную бюрократию принятия управленческих решений. Она характеризуется тремя признаками: 1) проблематичностью предпочтений; 2) нечетко и плохо понимаемой технологией принятия решений; 3) текучестью кадров. «Организованная анархия» свойственна организациям, для которых характерны частые изменения и коллегиальная небюрократическая обстановка.

Уникальной особенностью модели «мусорного ящика» является то, что процесс принятия решения не выглядит как последовательность шагов, которые начинаются с проблемы, а заканчиваются решением. Решения в этой модели представляют собой результат независимых потоков событий, происходящих внутри организации, имеющих отношение к процессу принятия решения: поток проблем (1), потоки потенциальных решений (2), участники принятия решений (3) и благоприятные возможности для выбора (4).

С учетом концепции четырех потоков общая схема принятия решения в организации приобретает случайный характер. Проблемы, предлагаемые решения, участники и выбранные решения – все это проходит через организацию, т.к. в определенном смысле организация является большой корзиной для мусора, в которой все эти потоки смешиваются.

Если проблема, решение и участник принятия решения случайно соединяются в одной точке, то проблема может быть урегулирована; но если решение не подходит к данной проблеме, то проблема может остаться нерешенной. Таким образом, рассматривая организацию в целом в крайней степени неопределенности, можно увидеть проблемы, которые не решаются, и решение, которое не реализуется, т.к. ситуация является настолько сложной, что решения, проблемы и результаты независимы друг от друга.

Последствия использования модели «мусорного ящика»: 1) решения могут быть предложены даже тогда, когда проблема не выявлена и даже не существует; 2) выбор может быть сделан без решения проблем; 3) проблемы могут оставаться нерешенными в организации; 4) однако некоторые проблемы решаются. При компьютерном моделировании в условиях модели «мусорного ящика» нередко решались важнейшие проблемы, т.к. появлялась возможность связывать проблемы с соответствующими решениями и участниками так, что делался удачный выбор управленческого решения.

### 1.7.3. Понятие об основных стилях принятия решений

Для принятия правильного решения надо обдумать проблему, но часто руководители лишены возможности использовать аналитический подход – на них давит необходимость срочно принять решение. К препятствиям, мешающим обдумать ситуацию относят: 1) нервное напряжение (руководитель озабочен решением проблемы, но при этом, чтобы трезво мыслить, надо владеть эмоциями); 2) недостаток времени (из-за спешки можно принять неверное решение), поэтому, если проблем много, лучше решить, какие из них требуют решения в первую очередь; 3) давление со стороны (от руководителя окружающие ждут решительных и быстрых действий).

Классификация стилей принятия решений сводят к 3 основаниям: 1) по соотношению усилий на фазе разработки альтернатив и выбора; 2) по степени участия подчиненных в процессе принятия решений (это теории ученых: Д. МакГрегора, Р. Танненбаума, У. Шмидта, В. Врума); 3) по уровням организации управленческих решений.

В зависимости от соотношения времени, уделяемого каждому из двух главных частей управленческого решения – этапу формирования гипотез (Ф) и этапу анализа, коррекции и контроля (К), выделяют **пять основных стилей** принятия решений:

- 1) **инертные** ( $\Phi \ll K$ ) характеризуются неуверенным и предельно осторожным поиском вариантов;
- 2) **осторожные** ( $\Phi < K$ ) характеризуются тщательной оценкой гипотез;
- 3) **уравновешенные** ( $\Phi = K$ ) принимают менеджеры, внимательно и критически относящиеся к своим действиям, выдвигаемым гипотезам, а также к их проверке;

4) **рискованные** ( $\Phi > K$ ) принимаются без тщательного обоснования действий руководителем, который уверен в своих силах;

5) **импульсивные** ( $\Phi \gg K$ ) основаны на неожиданном озарении руководителя, стечении обстоятельств, сильном нервном возбуждении как руководителя, так и подчиненных.

Что касается стилей принятия решений **по степени участия подчиненных**, то по Ренсису Лайкерту их **четыре**: 1) **эксплуаторско-авторитарный** (X1) – полностью соответствует «теории X»; 2) **благо-склонно-авторитарный** (X2) – более мягкий вариант стиля «X1», предполагает больше вознаграждений по сравнению с наказаниями; 3) **консультативно-демократический** (Y1) – разделение уровней принятия решений между высшим и средним менеджментом, но за высшим руководством – большой объем контроля; 4) **партиципативный** (Y2) – соответствует «теории Z», здесь распределение процесса принятия решений по всем звеньям с распределением ответственности (высокая степень самоуправления и самоконтроля).

По теории Танненбаума-Шмидта, где обычно используются сокращения по участникам взаимодействия (руководитель – (P), а сотрудники – (C)), выделяют **7 стилей**: 1) (P) принимает решение, которое принимается (C) без критики; 2) (P) принимает решение и убеждает (C), что оно единственно правильное; 3) (P) принимает решение после обсуждения и ответа на вопросы (C); 4) (P) выдвигает проект решения, которое может быть изменено (C); 5) (P) ставит цель, задачи, (C) – выдвигают альтернативы, (P) – выбирает; 6) (P) формулирует проблему и разрабатывает альтернативы, а (C) решают какой вариант выбрать; 7) (P) и (C) совместно принимают решения по всем проблемам (встречается очень редко).

Также различают стили принятия решений **по уровню организации решений**. Их выделяют 5 стилей: 1) **диктаторский** – характерен для (P) высшего звена и предполагает авторитарные методы; 2) **реализаторский** – (P) использует мнение коллектива при принятии решений, но реализацию берет на себя, что приводит к перегрузке руководителя. 3) **организаторский** – коллективное принятие решений и реализация; 4) **координаторский** – стиль освобождает (P) от руководящей роли в принятии и реализации, но может привести к преобладанию власти подчиненных над (P). Последний – 5 стиль – **маргинальный** (характерен для (P), которые сами не способны принимать решения и подчиняются командам «сверху»).

Аланом Роу предложено 4 стиля<sup>1</sup>, зависящих от того, терпеливы ли вы к состоянию неопределенности или вам нужно скорей разложить все «по полочкам», на что вы больше ориентированы – на работу и общение с

---

<sup>1</sup> Работа Алана Роу «Decision Styles – A Perspective», описывающая теоретические основания классификации стилей принятия управленческих решений, включая методику их определения, была опубликована в 1983 г.

людьми или на выполнение задачи. Выявлено, что аналитический и директивный стили связаны с преимущественной активностью левого полушария мозга, а концептуальный и поведенческий – правого (табл. 1.7.2).

Таблица 1.7.2

Стили принятия решений по А. Роу

Когнитивная сложность	Высокая (терпимость к неопределенности)	Аналитический	Концептуальный
	Низкая (нужна структуризация)	Директивный	Поведенческий
		Левое полушарие	Правое полушарие
		Рациональный	Интуитивный
		Способ мышления	
		Задачи	Люди
		Ценностная ориентация	

Анализ стилей по А. Роу показывает: разные стили имеют разные предпочтения к форме информации, требуют разного её объема (табл. 1.7.3).

Таблица 1.7.3

Сравнительный анализ стилей принятия решений

Стили	Предпочитаемая форма выработки решения	Нужный объем информации	Предпочитаемая форма информации	Ориентация при принятии решения
Аналитический	Индивидуальная	Большой	Письменная	На оптимальный вариант
Директивный	Индивидуальная	Малый	Устная	На время и практичное решение
Концептуальный	Групповая	Большой	Образная	На оптимальный вариант
Поведенческий	Групповая	Малый	Устная	На отношения с людьми

Они разнятся и по предпочитаемой форме выработки решения (индивидуальная, групповая), а также ориентации при принятии решений (на оптимальный вариант, на время и практичное решение, на отношение с людьми).

Современными исследователями проводились обследования почти 20 тыс. менеджеров и специалистов в США по вопросу предпочтения стилей принятия решений в свете кросс-культурных различий. Результаты данного обследования дали следующую картину (табл. 32). В последней колонке этой таблицы со средними оценками жирными цифрами нами выделены подсчитанные оценки предпочтений менеджеров США по четырем стилям (директивному, аналитическому, концептуальному и поведенческому).

Для сравнения в табл. 1.7.4 также приведены данные по современной России, из которых следует, что упомянутые выше оценки не так уж сильно различаются по отношению к оценкам по США.

Таблица 1.7.4

## Стиль принятия решений (кросс-культурные различия)

Стиль	Страна	Оценки по стилям		
		Мин.	Макс.	Средняя
Директивный	США	68	82	<b>75</b>
	Россия	74	87	80
Аналитический	США	83	97	<b>90</b>
	Россия	82	96	89
Концептуальный	США	73	87	<b>80</b>
	Россия	66	75	70
Поведенческий	США	48	62	<b>55</b>
	Россия	56	68	61

Известны также другие классификации стилей принятия решений. Например, К. Бруссо, М. Драйвер, Р. Ларссон, Г. Уриан выделяют 4 стиля: иерархический, решительный, комплексный и гибкий (табл. 1.7.5).

Таблица 1.7.5

Характер стилей принятия решений по исследованиям  
К. Бруссо, М. Драйвера, Р. Ларссона и Г. Уриана

По характеру использования информации	«Максималисты» (больше информации)	Иерархический	Комплексный
	«Удовлетворенцы» (меньше информации)	Решительный	Гибкий
		«Одноточечники» Один вариант	«Многостаночники» Много вариантов
		Количество вариантов	

**Вопросы для самопроверки**

1. Какие три момента присутствуют (в различной степени) в принятии любого решения?
2. Поясните, что такое интуиция, как она «работает» и почему ей нельзя полностью доверять?
3. Что такое суждение и какую роль оно играет в принятии решений руководителями среднего и низового звена управления?
4. Что лежит в основе рационального решения? Назовите этапы принятия рациональных решений и раскройте состав работ на них.
5. Какие два базовых подхода используются в теории принятия решений?
6. Раскройте сущность нормативной модели принятия решений и поясните, в чем её ценность.
7. Раскройте сущность дескриптивного подхода в теории принятия решений и поясните, в чем состоит его недостаток.

8. Почему появилась концепция «ограниченной рациональности» Герберта Саймона? Почему «модель рационального выбора» не работает в реальности?

9. В чем смысл политической (коалиционной) модели принятия решений (модель Карнеги)?

10. Какова сущность инкременталистской модели принятия решений, предложенной Ч. Линдбломом?

11. Почему появилась циклическая модель принятия решений?

12. Поясните сущность модели Г. Минцберга («Сначала думаю», «Сначала вижу», «Сначала делаю»).

13. В чем смысл модели «смешанного сканирования» А. Этциони?

14. В чем состоит сущность модели «мусорного ящика» и польза для теории принятия решений?

15. Каковы 5 основных стилей принятия решений в зависимости от соотношения времени, уделяемого формированию гипотез и этапу анализа, коррекции и контроля?

16. Назовите стили принятия решений по Р. Лайкерту.

17. Сколько стилей принятия решений выделяют в своей теории исследователи Р. Танненбаум и У. Шмидт?

18. Какие 4 стиля принятия решений предложил А. Роу и как эти стили связаны с работой полушарий головного мозга человека?

19. Какие выводы можно сделать о предпочтительности использования разных стилей принятия решений в свете кросс-культурных различий.

20. Охарактеризуйте выделение стилей принятия решений по исследованиям К. Бруссо, М. Драйвера, Р. Ларссона и Г. Уриана.

## ТЕМА 1.8. ПОНЯТИЕ СРЕДЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Решения в бизнесе требуют выбора между разными стратегиями. Зачастую этот выбор происходит в условиях сред, которые ЛПР контролирует слабо или не контролирует вовсе. Решения зависят от знания ЛПР сущности явления и того, как каждая из рассматриваемых стратегий может быть реализована при определенном состоянии этой сущности.

Состояния знания ЛПР классифицируются по трем состояниям: **определенности, риска, неопределенности**. Различия между этими состояниями отражают различия в степени знания ЛПР (табл. 1.8.1). Если представить состояние знания ЛПР как линию спектра, то на одном её конце будет определенность (полное знание), а на другом – неопределенность (полное отсутствие знания). Риск (частичное знание) – лежит между ними.

**Сущность неопределенности** проявляется в том, что при наличии неограниченного количества состояний объективных условий оценка вероят-

ности наступления каждого из них невозможна из-за отсутствия способов оценки. Критерий выбора решений в этих обстоятельствах определяется субъективными оценками ЛПР. В этих условиях ЛПР решает задачу уменьшения неопределенности путем **сведения её к условиям риска**.

Таблица 1.8.1

Сущность концепций определенности, риска и неопределенности

№	Концепция	Сущность
1	Определенность	Это состояние знания, когда ЛПР заранее знает конкретный исход для каждой альтернативы, обладает исчерпывающим знанием состояния среды и результатов каждого возможного решения
2	Риск	Такое состояние знания, когда известны один или несколько исходов по каждой альтернативе и когда вероятность реализации каждого исхода достоверно известна ЛПР. В условиях риска ЛПР, обладает неким объективным знанием среды действий и способно объективно прогнозировать вероятную сущность явлений и исход или отдачу по каждой из возможных стратегий
3	Неопределенность	Это состояние знания, когда одна или более альтернатив имеют ряд возможных исходов, вероятность которых либо неизвестна, либо не имеет смысла. В отличие от риска неопределенность – <b>субъективное</b> явление. Она часто бывает обусловлена быстрыми изменениями переменных и явлений рынка, определяющих экономическую и социальную среду действия фирмы

Определенную роль при этом играет постановка вопросов: 1) какова существующая неопределенность? 2) что надо сделать для её уменьшения? 3) каковы затраты на уменьшение неопределенности? В зависимости от причин появления неопределенности выделяют её разные виды (табл. 1.8.2). Устранить её полностью или частично можно углубленным изучением имеющейся информации либо приобретением недостающей информации.

Таблица 1.8.2

Виды неопределенности

№	Вид	Характеристика
1	Количественная	Обусловлена значительным числом объектов или элементов в ситуации
2	Информационная	Вызвана недостатком информации или её неточностью по техническим, социальным и другим причинам
3	Стоимостная	Обусловлена дорогой, недоступной платой за определенность
4	Профессиональная	Это следствие недостаточного профессионализма ЛПР
5	Ограничительная	Вызвана ограничениями в ситуации принятия решений, например ограничения по времени и др.
6	Внешней среды	Связана с её поведением или реакцией конкурента на процесс принятия решения. Из-за большой изменчивости внешней среды применяется термин «турбулентность внешней среды»

**Природа риска** в экономике обусловлена рядом факторов: 1) ограниченной сферой государственного регулирования хозяйственной деятельности (ограничение «видимой руки» рынка); 2) усилением роли случайных факторов во взаимодействии предприятия с внешней средой; 3) частной (и её видами) собственностью, её владением, пользованием и распоряжением; 4) конкурентной борьбой товаропроизводителей и других хозяйствующих субъектов; 5) всеобъемлющим характером риска, распространяющимся на сферы общественной жизни (производственную и непроизводственную).

**Риск – это опасность возникновения ущерба.** Предметом риска при принятии решений являются потери ресурсов: материальные, трудовые, финансовые, информационные, интеллектуальные или недополученные доходы (ниже ожидаемых), т.е. если риск не оправдался, ЛПР может в худшем случае понести потери затраченных средств (сверх запланированных), либо недополучить сумму ожидаемых доходов.

К типичным **признакам рискованных ситуаций** относятся: 1) величина потенциального ущерба (или выигрыша); 2) вероятность наступления последствий принятого решения (неизбежные потери не являются риском); 3) альтернативность выбора (рисковать или не рисковать); 4) неопределенность условий: чем она выше, тем больше риск; 5) возможность управления риском (совершение действий, уменьшающих или увеличивающих величину или вероятность ущерба); 6) надежда на успех.

Разновидностей рисков множество. **Допустимый** риск влечет за собой потерю прибыли, **критический** – выручки (полной стоимости проданного товара), **катастрофический** риск приводит к гибели предприятия из-за утраты имущества и банкротства.

Источником возникновения рисков при принятии решения могут быть психологические особенности руководителя, которые в отношении к риску могут проявляться в диапазоне **от перестраховки** (риск бездействия) **до авантюризма** (действия за пределами оправданного риска). С целью исключения возможности провала либо предупреждения значительного ущерба при принятии решений надо анализировать риск и определять его последствия. При анализе риска используют принципы, предложенные Б. Берммером (США): 1) потери от риска независимы друг от друга; 2) потеря по одному направлению из «портфеля рисков» не обязательно увеличивает вероятность потери по другому; 3) максимально возможный ущерб не должен превышать финансовых возможностей участника.

Есть **два типа риска**: динамический и статический. **Динамический риск** – это риск непредвиденных изменений стоимости основного капитала (вследствие принятия управленческих решений) или рыночных, политических условий, которые могут привести как к потерям, так и к дополнительным доходам. **Статический риск** – это риск потерь реальных активов из-за нанесения ущерба собственности, а также потерь дохода по причине недееспособности организации. Этот риск приводит только к потерям.

Все факторы, так или иначе влияющие на риск, подразделяют на две группы: объективные и субъективные. К **субъективным** относятся факторы, характеризующие непосредственно данную фирму. Это производственный потенциал, техническое оснащение, организация труда, его производительность, уровни специализации, техники безопасности и т.д. **Объективные** факторы не зависят от деятельности предприятия (инфляция, конкуренция, политические и экономические кризисы).

Специалисты считают, что рискованные решения определяются внешней средой и индивидуальными свойствами личности. В практике принятия рискованных решений придерживаются шкалы **допустимого риска**, отражающей вид риска и величину связанных с ним потерь (табл. 1.8.3).

Как правило, большинству рискованных решений соответствует средняя величина риска (в пределах 20%), хотя с учетом специфики ситуации выбор руководителя может быть и иным. Независимо от деталей конкретной ситуации полезными советами являются: 1) не рискуй больше, чем можешь себе позволить; 2) думай о последствиях; 3) не рискуй многим ради малого; 4) при общей значимости показателя вероятности наступления события приоритет отдавай размеру потенциальных потерь.

Таблица 1.8.3

Шкала допустимого риска

Вид риска	Величина (коэффициент) риска, в %
Незначительный	До 5
Малый	5–10
Средний	11–20
Повышенный	21–30
Азартный	Свыше 30

Управленческое поведение при принятии решений в условиях риска отличается спецификой. На первом этапе происходит признание рискованной ситуации и оценивается возможность принятия её для конкретного управляющего. На втором – производится оценка степени риска. Третий этап характеризуется выбором действий по отношению к внешней и внутренним средам предприятия. Влияние на внешнюю среду может включать воздействие на линию поведения партнеров при заключении договоров и коммерческих сделок. Приспособление к риску через фактор внутренней среды предполагает сбор дополнительной информации, разработку новых альтернатив, выигрыш во времени и др.

### 1.8.1. Методы выбора альтернатив в условиях определенности

В условиях определенности ЛПР знает все о возможных состояниях сущности явлений, влияющих на решение, и знает, какое решение будет принято. При этом просто выбирается стратегия, направление действий или проект, которые дадут максимальную отдачу.

В общем случае выработка решений в условиях определенности направлена на **поиск максимальной отдачи либо в виде максимизации выгоды** (дохода, прибыли или полезности), **либо минимизации затрат**. Такой поиск называется **оптимизационным анализом**. Есть три метода оптимизации, используемых ЛПР: 1) предельный анализ; 2) линейное программирование; 3) приростной анализ прибыли.

**Предельный анализ.** В условиях определенности доходы и затраты будут известны для любого уровня производства и продаж. Задача состоит в том, чтобы найти их оптимальное соотношение, позволяющее максимизировать прибыль. Предельный анализ позволяет сделать это.

**Приростный анализ.** Он оперирует с любыми и всеми изменениями в доходах, затратах и прибылях, явившимися следствием определенного решения. Концепция приростного анализа охватывает изменения как самих функций, так и их значений. Основное правило решения состоит в том, чтобы принять любое предложение, повышающее прибыль, или отвергнуть любое предложение, её уменьшающее.

**Линейное программирование.** Модели линейного программирования отличаются наглядностью и относительной простотой. Их использование во многих практически важных задачах, связанных с принятием решений, оказалось высокоэффективным, в связи с чем они получили довольно широкое распространение (подробно это обсуждается в разделе 2).

### 1.8.2. Методы выбора альтернатив в условиях риска

Условия риска и неопределенности характеризуются так называемыми условиями многозначных ожиданий будущей ситуации во внешней среде. В этом случае ЛПР должен сделать выбор альтернативы ( $A_i$ ), не имея точного представления о факторах внешней среды и их влияния на результат. В этих условиях исход, результат каждой альтернативы представляет собой функцию условий – факторов внешней среды (функцию полезности), который ЛПР не всегда способен предвидеть. Для предоставления и анализа результатов выбранных альтернатив используют матрицу решений, называемую также **платежной матрицей** (табл. 1.8.4).

Таблица 1.8.4

Вид платежной матрицы

Альтернативы	Состояние экономики			
	S1	S2	S3	...
A1	E11	E12	E13	...
A2	E21	E22	E23	...
A3	E31	E32	E33	...
...	...	...	...	...

В матрице, данной в табл. 1.8.4 приведены обозначения:  $A_1, A_2, A_3$  – альтернативных стратегий действий;  $S_1, S_2, S_3$  – состояния экономики (ста-

бильность, спад, рост и др.);  $E_{11}$ ;  $E_{12}$ ;  $E_{13}$ ;  $E_{21}$ ; ...  $E_{33}$ ; ... – результатов решений. Методы принятия решений в условиях риска используют теорию выбора, получившую название **теории полезности**. В соответствии с этой теорией ЛПР выбирает  $A_i$  из совокупности  $\{A_i\}$  ( $i = 1 \dots n$ ), которая максимизирует ожидаемую стоимость его функции полезности  $E_j$ .

В условиях риска при принятии решения основным моментом является определение вероятности наступления состояния среды  $S_j$ , т.е. степени риска. После определения вероятности  $w_j(S_j)$  наступления состояния среды  $S_j$ , определяют ожидаемую стоимость реализации каждой альтернативы. Оптимальной стратегией является та, которая обеспечивает наибольшую ожидаемую стоимость.

**Дерево (древо) решений.** Его применяют тогда, когда надо принимать последовательный ряд решений. Дерево решений – графический метод, позволяющий увязать точки принятия решения, возможные стратегии  $A_i$ , их последствия  $E_{i,j}$  с возможными факторами, условиями внешней среды (рис. 1.8.1). Построение дерева начинается с более раннего решения, затем изображаются возможные действия и последствия каждого действия (событие), затем снова принимается решение (выбор направления действия) и так до тех пор, пока все логические последствия результатов не будут исчерпаны.

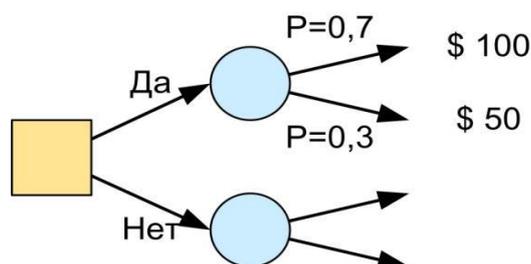


Рис. 1.8.1. Вид простейшего дерева решений

Дерево решений строится с помощью 5 элементов: 1) момент принятия решения; 2) точка возникновения события; 3) связь между решениями и событиями; 4) вероятность наступления события (сумма вероятностей в каждой точке должна быть равна 1); 5) ожидаемое значение (последствия) – количественное выражение каждой альтернативы, расположенное в конце ветви. Простейшее решение представляет собой выбор из двух вариантов – «Да» или «Нет». В литературе по методам принятия решений дается пример простейшего дерева решений – «формула» американского нефтяного магната Ж. Поля Гетти: «Как стать богатым»: «Вставай рано»; «Работай усердно»; «Найдешь нефть!». Моделирование последовательности решений выглядит так: 1. Решение: Нужно сделать выбор между тем, чтобы «Вставать рано» или «Спать допоздна» – простейший выбор. 2. Решение:

Нужно сделать выбор между тем, чтобы «Работать усердно» или «Спустя рукава» – простейший выбор. 3. Событие: «Найдешь нефть», происходит с определенной вероятностью, зависящей от последовательности принимаемых решений.

### 1.8.3. Методы выбора альтернатив в условиях неопределенности

Выбор наилучшего решения в условиях неопределенности зависит от того, какой информацией располагает ЛПР. Практикуются **два основных подхода** к принятию решения в условиях неопределенности: 1) ЛПР может использовать имеющуюся у него информацию и свои личные суждения, опыт для идентификации и определения субъективных вероятностей возможных внешних условий, а также оценки, вытекающие в результате отдачи, для каждой имеющейся стратегии в каждом внешнем условии (это делает условия неопределенности **аналогичными условиям риска**, при этом выполняется процедура принятия решения, обсуждавшаяся ранее для риска; данный случай – сведение неопределенности к риску); 2) если степень неопределенности **слишком высока**, то ЛПР предпочитает не делать допущений относительно вероятностей различных условий, т.е. это лицо может или не учитывать вероятности, или рассматривать их как равные.

Если применяется данный подход, то для оценки предполагаемых стратегий имеются **четыре критерия решения** (табл. 1.8.5).

Таблица 1.8.5

Критерии решения при высокой степени неопределенности

№	Критерий	Сущность и условия применения
1	2	3
1	Вальда (или максимин)	Это критерий крайнего пессимизма («рассчитывай на худшее»). Он ориентирует ЛПР на наихудшие условия и рекомендует выбрать ту стратегию, для которой выигрыш максимален. В более благоприятных условиях использование этого критерия приводит к потере эффективности системы или операции
2	Альфа-критерий решения Гурвица	Критерий рекомендует не руководствоваться ни крайним пессимизмом (всегда «рассчитывай на худшее»), ни крайним оптимизмом («все будет наилучшим образом»). Рекомендуются некое среднее решение ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ). Это компромисс
3	Мини-максный критерий Сэвиджа	Суть: если требуется в любых условиях избежать большого риска, то оптимальным будет то решение, для которого риск, максимальный при различных вариантах условий, окажется минимальным («рассчитывай на лучшее»). Критерий Сэвиджа (как и критерий Вальда) – это критерий крайнего пессимизма, но пессимизм здесь проявляется в том, что минимизируется максимальная потеря в выигрыше, по сравнению с тем, чего можно было бы достичь в данных условиях

1	2	3
4	Критерий Лапласа (Байеса)	Суть: если вероятности состояния среды неизвестны, то они должны приниматься как равные («ориентируйся на лучшее»). В этом случае выбирается стратегия, характеризующаяся самой предполагаемой стоимостью при условии равных вероятностей. Критерий Лапласа позволяет условие неопределенности сводить к условиям риска. Данный критерий называют критерием рациональности и он подходит для стратегических долгосрочных решений, как и все вышеназванные критерии

Кроме вышеназванных критериев, для принятия решений в условиях неопределенности существуют неколичественные методы, такие как приобретение дополнительной информации, хеджирование, гибкое инвестирование и др.

#### 1.8.4. Совещание в деле принятия решений

Совещание – жизненная необходимость любой организации. Известно, что **от 50 до 90% рабочего времени** современный руководитель тратит на совещания, собрания, встречи, беседы, переговоры и т.п. Иллюстрация классификации задач, решаемых индивидуально или коллективно в условиях различной информационной определенности, дана на рис. 1.8.2.

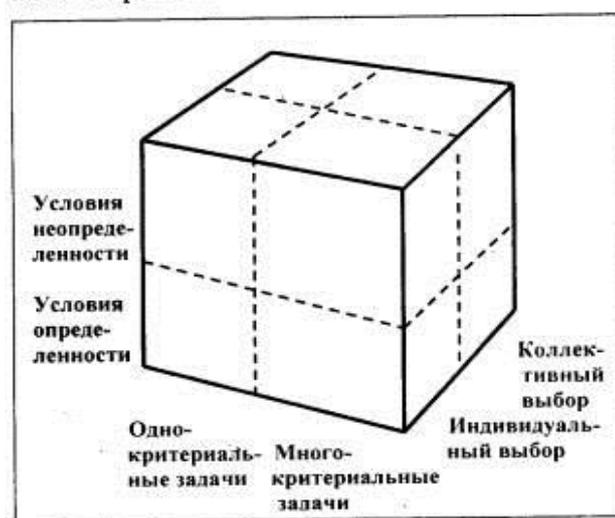


Рис. 1.8.2. Классификация задач принятия решений

Совещание – это **форма принятия коллективных решений в малых группах**. Речь идет о решениях, что принимаются в комиссиях, жюри, коллегиях – небольших группах. В роли ЛПР в этом случае выступает группа, принимающая решения (ГПР). Традиционным способом решения этих проблем является организация совещаний (заседаний), на которых

**члены коллективного органа, принимающего решения, выступают как эксперты**, оценивая различные варианты решений и убеждая других членов присоединиться к их мнению. Во многих случаях эти обсуждения позволяют прийти к единому мнению, которое иногда отражает компромисс между членами коллективного органа, принимающего решения.

К настоящему времени сложилась типология совещаний (табл. 1.5.6). Руководители знают, что важно проводить совещания эффективно. В истории человечества есть масса примеров проведения этих процедур. Широко известно написанное ещё в 1922 г. В.В. Маяковским стихотворение «Прозаседавшиеся», которое завершается словами: «С волнения не уснешь. Утро раннее. Мечтой встречаю рассвет ранний: «О, хотя бы ещё одно заседание относительно искоренения всех заседаний!»».

Таблица 1.8.6

Типы совещаний

№	Тип	Сущность
1	Учебное (конференция)	Его цель – дать участникам нужные знания и повысить их квалификацию
2	Информационное	Необходимо для обобщения сведений и изучения различных точек зрения на возникающие проблемы
3	Разъяснительное	В его ходе руководство стремится убедить сотрудников в правильности проводимой хозяйственной политики и неизбежности предпринятых шагов
4	Проблемное	Собирается для выработки метода решения существующих проблем организации

Существуют проверенные правила подготовки совещаний (табл. 1.8.7).

**Начало совещания.** Начинать совещание нужно вовремя. Во вступительном слове надо ясно обрисовать обсуждаемую проблему и обратить внимание всех присутствующих на конечную цель совещания. Чтобы создать стимул для дискуссии, подчеркивается практическую значимость обсуждаемых вопросов. Ещё лучше сразу поставит перед участниками ряд конкретных вопросов. Важно согласовать с участниками совещания правила совместной работы. Поручите одному из участников ведение протокола. Вступительное слово должно уложиться в 10 минут. Рекомендуется зафиксировать главную тему и очередность тем так, чтобы они все время были перед глазами слушающих и выступающих.

**Организация дискуссии.** Открытая и плодотворная дискуссия возможна лишь в атмосфере непринужденности. Надо все время сохранять спокойный и дружеский тон, чрезмерная официальность способна задуть дискуссии. Следует расположить выступления в таком порядке, чтобы дискуссия развивалась. Если вы действительно хотите извлечь пользу из совещания, вам надо ознакомиться со всеми точками зрения на обсуждаемые проблемы, в т.ч. и с теми, которые противоположны вашей. А это означает, что вам нужно очень осторожно выбирать слова. Острая реплика

типа «это абсолютно неверно» или «вы в корне заблуждаетесь» убивает мысль и задевает чувство собственного достоинства у выступающего, а значит, преграждает дорогу истинной дискуссии.

Таблица 1.8.7

Правила подготовки совещаний

№	Правило	Комментарий
1	Четко определить тему и желаемый результат совещания	Если тема определена расплывчато, есть много аспектов, то после обсуждения у участников остается чувство неудовлетворенности. Следует определить, какой результат вам нужен: принять решение по вопросу; выработать рекомендации; убедить присутствующих, что уже предпринятые вами шаги правильны
2	Тщательно разработайте повестку дня	Выбрать последовательность рассмотрения вопросов. Исходить не из деловых критериев, а из психологических. Начинать лучше с «легкой» темы. «Успех» бодрит участников совещания. Выделить вопросы, что могут вызвать дискуссию, продумайте, как придать ей нужное направление. Сложные проблемы требуют наглядности («лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать»). Заранее обдумайте, какие черты характера ряда участников совещания могут проявиться в его ходе, как надо на них реагировать
3	Ознакомьте участников совещания с фактами для дискуссии	Такое ознакомление можно организовать до начала совещания, предоставив его будущим участникам соответствующую документацию
4	Заранее пригласите лиц – участников совещания	Из приглашения должны быть ясны тема и цель совещания. Тот, кто не может эффективно помочь в достижении желаемых результатов, но должен быть проинформирован о ходе совещания, может затем получить протокол и ознакомиться с результатами
5	Выберите место проведения совещания исходя из его целей	Условия размещения участников имеют большое значение для создания деловой обстановки. Помещение должно иметь нормальную температуру воздуха, хорошую вентиляцию и не слишком роскошную обстановку. Каждый из присутствующих должен иметь возможность без труда видеть и слышать выступающего

Иногда полезно давать немедленную оценку каждому вносимому предложению. Но если есть опасение, что критика может остудить творческий пыл участников, лучше использовать метод «мозговой атаки». Развития дискуссии в нужном направлении вы сможете добиться, если все время будете следить, чтобы выступающие оставались в рамках проблемы и их «не заносило». Действовать при этом необходимо дипломатично. Для того, чтобы не обидеть оппонента выработан ряд правил: 1) несмотря на раздражение, говорите медленно и негромко; 2) обращайтесь не непосредственно к своему противнику, а ко всей аудитории, благодаря этому возникает деловая и спокойная обстановка; 3) в начале своей реплики подчеркните, что по ряду вопросов взгляды ваши и оппонента совпадают (можно даже подкрепить это неким аргументом); лишь после этого можно

переходить к контраргументам, формулируя их в виде конкретных вопросов.

Умелая постановка вопросов – верное средство управления дискуссией. Одно из важных требований к руководителю совещания: не навязывать с самого начала свою позицию остальным участникам. Должность руководителя придает словам особый вес и те из присутствующих, что придерживаются противоположных взглядов на рассматриваемую проблему, могут просто не решиться их высказать, чтобы не противоречить начальству. Нейтральная позиция не исключает возможности высказать мнение. Только надо излагать его от третьего лица: «Недавно читал, что...» или сформулировать: «А может быть, стоит задуматься над вопросом...».

**Завершение совещания.** Заканчивая совещание, кратко суммируйте обсуждение и определите будущие мероприятия, которые планируется осуществить согласно принятому решению. Совещание надо завершать на позитиве. Это позволяет добиться уверенности в том, что все присутствующие отчетливо понимают, о чем шла речь на совещании, у них складывается убеждение, что в ходе дискуссии достигнут определенный прогресс. Результаты совещания необходимо зафиксировать в протоколе и разослать всем лицам, которые должны быть о них информированы. Эффективность совещания целиком зависит от общего стиля руководства. Принцип «в этом доме хозяин я» неминуемо скажется на атмосфере совещания. Открытой дискуссии в этом случае не получится. Такая дискуссия возможна лишь при действительно коллегиальном стиле руководства.

**Типы участников совещаний.** При проведении совещания следует исходить из того, что зачастую приходится иметь дело с характерными типами участников обсуждения (табл. 1.8.8). Поэтому надо знать, как с ними обходиться или как их нейтрализовать.

Таблица 1.8.8

Типаж участников совещаний

№	Имя типа	Способ взаимодействия (нейтрализации)
1	«Спорщик»	Сохранять невозмутимость и деловитость. Предоставить группе участников опровергать его утверждения
2	«Позитивист»	Предложить ему подведение итогов, втянуть в дискуссию
3	«Всезнайка»	Призвать группу участников занять определенную позицию по отношению к его утверждениям
4	«Словоохотливый»	Тактично прерывать. Напоминать о регламенте
5	«Застенчивый»	Ставить несложные вопросы, укреплять уверенность в его силах
6	«Негативист»	Признать и оценить его знания и опыт
7	«Не проявляющий интереса»	Спросить его о работе. Привести примеры его сферы интересов
8	«Крупная шишка»	Избегать прямой критики, применять технику «да, но...»
9	«Расспрашивающий»	Адресовать его вопросы группе участников

**Общие советы** по организации и проведению совещания сводятся к следующим 5 рекомендациям: 1) надо потратить 10–15 минут на то, чтобы составить хотя бы схематично план совещания, наметить, кому в какой очередности дать слово, на что обратить особое внимание; 2) выделять в каждом выступлении основную мысль; 3) подавлять любые вспышки эмоциональности, эмоции резко снижают результативность обмена мнениями и увеличивают продолжительность совещаний; 4) пресекать попытки ряда специалистов заморочить голову остальным, используя для этой цели крайне специфическую терминологию, понятную лишь им самим; 5) до самого последнего времени скрыть от участников совещания (если они – подчиненные) личное мнение, с которым вы пришли на это совещание.

Таким образом, у совещания, как распространенного способа принятия коллективных решений есть достоинства и недостатки (табл. 1.8.9).

Таблица 1.8.9

Достоинства и недостатки совещаний

№	Достоинства	Недостатки
1	Возможность для каждого из членов ГПР высказать мнение и обосновать его	Сильное влияние на ГПР доводов одного (ряда) членов (коалиции), направленных на выпячивание положительных сторон предпочитаемых ими вариантов решений
2	Возможность для каждого из членов ГПР выслушать мнение всех других членов	Большая и зачастую неэффективная трата времени членами ГПР, особенно при сильном расхождении мнений у некоторых из них
3		Поспешное применение правила большинства, не позволяющего учесть мнения всех членов ГПР

Для преодоления отрицательных черт традиционных способов принятия коллективных решений есть **три направления исследований** по принятию решений в малых группах: 1) неантагонистические игры; 2) групповые системы поддержки принятия решений; 3) организация работы группы принятия решения с помощью посредника (аналитика, консультанта).

**1. Неантагонистические игры.** Одно из направлений в теории игр, ориентированное на разработку математических моделей, описывающих процесс выработки компромисса – поиск точек равновесия. Работы в данном направлении имеют, как правило, чисто теоретический характер.

**2. Групповые системы поддержки принятия решений.** Разрабатываются локальные сети для членов ГПР и формальные алгоритмы сравнения предпочтений на заданном множестве объектов. Системы поддержки принятия решений предназначены для ознакомления каждого из членов ГПР с мнениями других. Задача согласования мнений членов ГПР либо не ставится, либо сводится к усреднению мнений. С практической точки зрения подход не соответствует задачам принятия ответственных решений.

**3. Организация работы ГПР с помощью посредника (аналитика, консультанта).** С практической точки зрения – наиболее перспективное

направление. Яркий пример – конференции по принятию решений (decision conference). Организация и проведение конференций по принятию решений связаны с именами С. Камерера (США) и Л. Филипса (Англия). Они первыми разработали методологические основы организации конференций по принятию решений и получили хорошие результаты.

### **1.8.5. Роль прогнозирования в деле принятия управленческих решений**

«Прогноз, – по определению Большой Советской энциклопедии (БСЭ), – **предвидение изменений в развитии и исходе каких-либо событий, явлений, процессов на основании полученных данных**». Прогнозирование, по И.В. Бестужеву-Ладе, есть разработка прогноза, в узком значении – специальное научное исследование конкретных перспектив развития какого-либо явления. Прогнозирование как одна из форм конкретизации научного предвидения находится во взаимосвязи с планированием, программированием, проектированием.

Прогнозные исследования начинаются с составления **научно-технических прогнозов** – подсистемы в общей системе прогнозов. Последние включают в себя еще экономическое и социальное прогнозирование. Экономическому прогнозу должен предшествовать инженерный. Особое внимание к развитию техники закономерно. Одно ранних определений научно-техническому прогнозированию дано Р. Ленцем: «Технологическое прогнозирование – это предсказание будущих изобретений, технических характеристик и функциональных возможностей машин и приборов, служащих общественно-полезным целям».

Методология научно-технического прогнозирования в настоящее время активно развивается. Сегодня есть более 150 методов научно-технического прогнозирования и около 600 их возможных комбинаций. Использование комплексных методов, синтезирующих определенным образом алгоритмы отдельных методов, **обусловлено невозможностью прогнозирования развития сильно усложняющихся технических объектов с помощью какого-либо одного метода**. В области науки и техники сейчас рассматривают три класса прогнозов: исследовательский, нормативный и организационный (табл. 1.8.10).

Важнейшие характеристики прогноза – его **период упреждения (временная глубина) и комплексность (ширина)**.

Выделяют методы прогнозирования **количественные и качественные**. К **качественным методам** прогнозирования относятся в основном методы предвидения спроса (такие как: мнение потребителей, мнение покупателей, мнение опытных менеджеров), рыночные тесты. С их помощью определяют, как изменится объем и структура продаж в зависимости от цены товара, местонахождения и уровня доходов клиентов и других факторов.

## Характеристика классов прогнозов

№	Класс прогнозов	Направленность и сущность
1	Исследовательский	От прошлого через настоящее к будущему. Исходит из внутренней логики развития объекта, базируется на познанных тенденциях и закономерностях. Его цель – выявить и сформулировать возможность и перспективность направлений научно-технического развития
2	Нормативный	Направленность: от будущего к настоящему. Исходит из формулировки программы путей, условий для достижения целей
3	Организационный	От настоящего к будущему. Определяет организационно-технические мероприятия, необходимые для достижения целей будущего развития

К **количественным методам** прогнозирования относят **анализ временных рядов (АВР)** и **корреляционно-регрессионный анализ (КРА)**. АВР позволяет сделать выводы о текущем изменении показателей во времени. В прогнозных расчетах обычно используется следующая модель:

$$Y = f(T, C, S, R), \quad (1.8.1)$$

где  $Y$  – прогнозируемый объект;  $T$  – основной тренд (тенденция);

$C$  – цикличность колебания вокруг тренда;  $S$  – сезонные колебания;

$R$  – необъясненные колебания (ошибки прогноза).

Прогнозирование на основе анализа временных рядов (АВР) использует методы: экспоненциального сглаживания, экспоненциального сглаживания с учетом линейного тренда, экспоненциального сглаживания с учетом сезонной аддитивной компоненты.

**Метод корреляционно-регрессионного анализа (КРА)** построен на использовании моделей причинного прогнозирования, которые содержат ряд переменных, имеющих **отношение** к предсказываемой переменной.

В основе корреляционного анализа лежит расчет коэффициентов корреляции –  $+1 \geq r \geq -1$ . Эти коэффициенты показывают степень линейной взаимосвязи. После определения связи между этими переменными строится статистическая модель, которая и используется для прогноза. Наиболее часто используемой количественной моделью является модель **линейного регрессионного анализа**.

Прогноз может быть **оперативным** (период упреждения до месяца), **кратко-** (период упреждения – от 1 месяца до 1 года), **средне-** (на несколько лет), **долгосрочным** (свыше 5 – до 20 лет), а также **локальным, частным и комплексным**, причем локальный прогноз является базовым для всех прогностических исследований.

Если следовать классификации М. Цетрона и Т. Монахана, а также исключить комбинаторную детализацию, то все методы прогнозирования

можно разделить на **нормативные и исследовательские**. Первые по существу являются **методами планирования**. К ним относятся методы прогнозного графа, дерева целей – средств и т.д. Наиболее известным является метод Паттерн (помощь планированию с использованием техники присвоения коэффициентов относительной влажности). Недостатком этих методов является субъективизм оценок и неоднозначность прогнозов. Использование этих методов требует глубокого и комплексного предпрогнозного изучения сущностной стороны объекта прогнозирования.

Исследовательские (поисковые – по Цетрону-Монахану) методы включают в себя **методы экспертизы, экстраполяции тенденций, аналогий**. Кроме того, классификация предусматривает подразделение методов на групповые и методы прогнозирования одним человеком.

Не все группы исследовательских методов могут быть использованы при прогнозировании развития технических систем (ТС). Даже лучшие из них (метод Дельфи) не могут дать точного дальнего прогноза. При выработке прогноза возможна даже победа банальной точки зрения, несмотря на то, что при работе используются методы, снижающие субъективизм оценок (проявляется «профессиональный снобизм» и «профессиональный кретинизм»). Существование аналогий с современными философскими позициями объясняется тем, что все системы (технические, биологические и т.д.) развиваются по общим законам диалектики и по конкретным законам развития, во многом близким.

**Основная идея методов экстраполяции** заключается в том, что тенденция, проявившаяся в предпрогнозный период, сохраняется в будущем. **Прогноз по этим методам дает верные результаты лишь на небольших временных интервалах – в пределах спрямленных участков S-образной эволюционной кривой**, которая характерна как для биологии, так и для техники. Эти методы точно прогнозируют количественный рост показателей систем, но принципиально не могут предсказать качественных скачков, т.е. не учитывают переломных моментов в их развитии.

Крупные исследователи в области ТРИЗ (С.С. Литвин С.С., В.М. Герасимов В.М. и др.) отмечают, что в качестве самостоятельного и довольно эффективного метода прогнозирования может рассматриваться научно-фантастическая литература (у писателей-фантастов Ж. Верна, Г. Уэллса, Э. Гамильтона, А. Беляева, Дж. Кэмпбелла и ряда других авторов фантастических произведений **процент точных технических прогнозов поразительно высок**).

В.А. Александров классифицирует как **опережающие методы патентной экспертизы и сканирования научного задела**. Ведь информационный массив, отражающий НТП, имеет важные особенности: а) логическую и временную упорядоченность информации; б) наличие данные о качественных сдвигах, отражающих глубинные процессы и связи НТП; в) воз-

возможность определения этого развития и его направленности; г) возможности проследить взаимодействие науки и техники.

Особо внимательно должна изучаться патентная информация. Внимание прогнозистов к патентам не случайно. Патентной информации присуща новизна, концентрированность, достоверность, формализованность, полнота в большей степени, чем для других видов НТИ, несмотря на то, что в ряде источников подчеркивалось преувеличенное значение для прогнозирования патентов, так как среди них есть «бумажные», «отпугивающие», «заградительные», «досаждающие», «дезинформирующие», т.е. выполняющие функцию защиты экономических интересов владельцев изобретений. Действительно, патентная информация может быть искажена патентной дезинформацией фирм для победы в конкурентной борьбе, хорошей работой патентных служб отдельных фирм, работой активных изобретателей и т.д., однако в целом патентные описания являются носителем сжатой информации с наивысшей информационной нагрузкой.

Вероятность того, что запатентованное изобретение принесет пользу, достаточно высока. **По данным анализа, проведенного в США, 2/3 запатентованных изобретений определяют в той или иной форме научно-технический прогресс в будущем.**

Отмечена согласованность динамики патентования с динамикой производственно-экономических показателей: анализ 40 показателей экономической системы Великобритании за период с 1945 г. до 1970-х годов показал, что динамика заявок и патентов предвещает основные промышленно-экономические показатели или следует за ними, т.е. является своеобразным полномочным представителем динамики НТП. Срок упреждения прогноза при оценке динамики патентования равен среднестатистическому периоду внедрения изобретения (для машиностроения это 10–15 лет).

Информационное моделирование в виде методик прогнозирования, основанных на обработке патентной и научно-технической информации, получило распространение, главным образом в СССР. Наиболее известными методиками являются: а) методика оценки инженерно-технической значимости изобретений В.Г. Гмошинского; б) методика комплексной оценки патентного массива Н.М. Тимофеевой. Первая методика имеет недостатки в том, что требует наличия сведений о моменте и объеме внедрения изобретения, о его технико-экономических показателях (что в патентах отсутствует), т.е. связана с глубоким исследованием каждого отдельно взятого патента, а это возможно и целесообразно лишь для небольших массивов патентов. Применять методику В.Г. Гмошинского в силу названных причин студентам трудно.

Методика Н.М. Тимофеевой является представителем группы методик, основанных на возможности использования при прогнозировании тенденций развития науки и техники, показателей изобретательской активности. Эта возможность доказана учеными нашей страны в начале 70-х годов. В

основу методики положена закономерность динамики патентования. Выражением динамики патентования служит уравнение

$$N = c \exp(bt), \quad (1.8.2)$$

где  $N$  – число заявок на патентоспособные идеи, поступающие ежегодно;  
 $c, b$  – постоянные коэффициенты;  $t$  – годы.

Для определения перспективности конкретного направления в рамках прогноза достаточно аппроксимировать ряд динамики патентования за период ретроспекции формулой (1.9) и определить знак коэффициента  $b$ .

При сравнении двух направлений с  $b > 0$  более перспективным является направление с большим  $b$ , так как обладает более высокой скоростью роста. Составление массива производится на основе сплошного просмотра выбранных источников информации. В кодовую ведомость, кроме содержания патента, заносят номер, код страны патентования, год выдачи, страну первого приоритета, название фирмы-патентообладателя и т.д.

Методика может использоваться для научного обоснования программ развития отраслей народного хозяйства, выбора приоритетных направлений, корректировки планов на самых высоких уровнях. Для использования в исследовательской работе студентов методика все-таки трудоемка, хотя такой опыт имеется. Графической формой представления уравнения (1.9) в зависимости от значения коэффициента  $b$  является график роста, стабилизации и падения изобретательского интереса (рис. 1.8.3), напоминающий S-образные кривые.

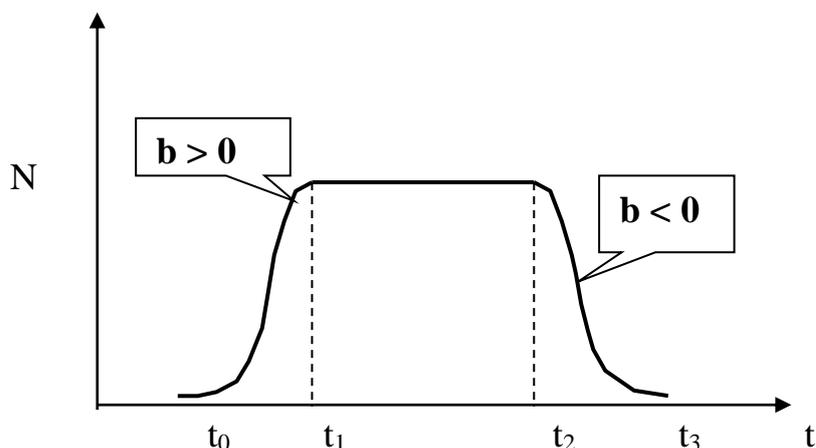


Рис. 1.8.3. Цикл развития патентной информации по техническому направлению:  $N$  – число заявок на патентоспособные идеи, поступающие ежегодно;  $t_0$  – время, соответствующее появлению пионерского изобретения;  $t_0 - t_1$  – период создания оборудования и технологии для реализации технического решения (ТР);  $t_1 - t_2$  – период исчерпания возможностей улучшения ТР;  $t_2 - t_3$  – период спада изобретательской активности

Прогнозирование по патентным документам – это компонент патентных исследований. Все виды патентных исследований в значительной мере способствуют разработке новых технических решений. Однако методика исследований с целью создания новых решений ещё не разработана.

Вследствие применения в технике все новых и новых физических процессов и конструктивных решений картина общего технологического прогресса осложняется и становится фрагментной. Возникает невольный вопрос: нельзя ли как в животном мире, получить целостное представление о мире техники через некоторую «техногенетику» и простой исходный «техногенофонд». Речь идет о том, чтобы научиться обнаруживать и выделять некое множество сравнительно простых факторов и признаков, определяющих все многообразие техники в отдельной отрасли.

Отвечая на вопрос о наличии осмысленных принципов, с помощью которых можно решать сложные задачи, связанные с созданием новой техники, профессор К.С. Касаев (специалист по конструированию комической техники) называет в их качестве естественные признаки, во-первых, лежащие в основе выработанных природой действий по развитию различных её объектов во времени и пространстве, а во-вторых, на которых строятся сами объекты и их элементы. Он считает, что естественные принципы одновременно являются «методологией» природы, её «инструментом» и унифицированным образом, по которому строится объект. В качестве естественных принципов развития им называются следующие: **совершенствования, исключения и совмещения.**

Проблему скачкообразного развития технического объекта решает принцип совмещения функций в пространстве и времени. Совместное действие дает синергический эффект при одновременном сокращении количества элементов в объекте. В виде формулы принцип записывается так:

$$N_2 = N_1 - n_c - n_{\text{и}} , \quad (1.8.3)$$

где  $N_1$  и  $N_2$  – количество исходных и оставшихся элементов в объекте;

$n_c$  – число элементов, совмещающих функции;

$n_{\text{и}}$  – число исключенных элементов.

Отвечая на этот вопрос о появлении синергического эффекта, Касаев отмечает, что всякий объект и его элементы имеют множество совмещенных свойств в данный момент находящихся в равновесии. Важное качество равновесия – его подвижность (временная и мгновенная). Изобретатель должен научиться, так воздействовать на объект и его элементы, такие устанавливать связи в объекте или между объектами (элементами), вводить новые элементы и (или) изменять свойства существующих, чтобы обнаруживать новые свойства, извлекая из этого эффект. Есть три типа свойств, совокупностью которых обладает каждый объект – однотипные, разнотипные, противоположные, совмещенные в пространстве и времени.

На них надо воздействовать, чтобы объекту придать новые функции, использовать его по новому назначению и т.д.

Проявление общих законов развития применительно к техническим объектам нашло отражение в закономерностях совершенствования технических систем, сформулированных Г.С. Альтшуллером на основе анализа десятков тысяч изобретений. На сегодня в ТРИЗ оформился добротный прогностический аппарат. Специфика и отличие последнего от традиционных методов прогнозирования состоит в следующем:

1. Прогнозирование по ТРИЗ включает не только постановку задач развития техники, но и их решение. В итоге получают конкретные решения, а не общее направление развития. По результатам прогноза можно начинать их реализацию, т.е. прогноз по ТРИЗ является опережающим.

2. Прогнозирование по ТРИЗ ведется системно, по «многоэкранной схеме», отличающейся от переборной стратегии традиционных методов.

3. Прогнозирование по ТРИЗ совмещается с любыми другими методами. Совпадение результатов прогноза в этом случае повышает надежность прогноза. В случае несовпадения возникает типичная изобретательская ситуация, т.е. выигрыш следует всегда.

4. Прогнозирование по ТРИЗ не ориентировано на сегодняшний мировой уровень. Прогнозируется не только количественные изменения в рамках существующих конструкций и технологий (в рамках S-образной кривой), но и качественные скачки.

5. Частичная верификация прогноза может осуществляться уже по патентным документам, появившимся за время разработки прогноза, по источникам непатентной информации (промышленные каталоги, проспекты).

6. Специфика прогноза на базе ТРИЗ состоит в том, что, давая сведения о том, какие будут будущие технические системы, он не всегда отвечает на вопрос, как её изменение может быть использовано, зачем оно нужно.

7. Прогнозирование на базе ТРИЗ и ФСА по срокам упреждения, видимо может быть любой временной глубины (кратко-, средне-, долгосрочным). Все зависит от полноты выполнения работ и поставленной цели.

Представление о соотношении этапов традиционного прогнозирования и такового по ТРИЗ дает табл. 1.8.11.

Видно, что «тризовские» методики соединяют элементы, как традиционных методов, так и ТРИЗ, но с преобладанием последних и увеличения их роли по мере продвижения к завершению прогноза. Из анализа приведенных методик следует важный вывод о том, что в реальных ситуациях (а именно, например, при выполнении прогнозов студентами) не обязательно выполнение всех видов работ.

Важно, что последовательность выполняемых шагов не является строго заданной. Многие шаги могут выполняться в разном (хотя и не произвольном) порядке.

Таблица 1.8.11

## Основные этапы разработки прогнозов технических систем (ТС)

№ этапа	Традиционное прогнозирование	Прогнозирование на базе ТРИЗ и ФСА	
		По С.С. Литвину-В.М. Герасимову	По Б.Л. Злотину-А.В. Зусман
1	2	3	4
1	<p><b>Предпрогнозная ориентация:</b>  <b>Цель:</b>  <b>конкретизация цели разработки прогноза (выбор объекта исследования, определение задач, прогноза и времени его упреждения).</b>            Состав этапа:            ознакомление с номенклатурой объекта, разработка классификации, удовлетворяющей цели исследования,            анализ прогностического фона (тенденции в смежных отраслях науки и техники).            Результат:            система альтернатив прогноза</p>	<p>Анализ ТС – прототипа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- компонентный анализ</li> <li>- структурный анализ</li> <li>- функциональный анализ</li> <li>- параметрический анализ</li> <li>- генетический анализ</li> </ul>	<p>Ознакомление с базовой ТС (БТС):            изучение принципа действия;            представительный прогнозный «просмотр» БТС по законам развития, стандартам.            Предварительное определение целей, направлений анализа:            морфопреобразования БТС;            выявление альтернатив БТС;            построение структурной схемы БТС;            построение функциональной схемы БТС;            построение диагностической таблицы БТС;            Выявление недостатков построения технологической схемы производства БТС. Выявление недостатков</p>
2	<p><b>Ретроспективный анализ:</b>  <b>Цель:</b>            сбор, анализ и обработка информации с целью выявления тенденций.  <b>Задачи:</b>            обеспечить максимальную ширину и глубину анализа источников информации: НТЛ, НИР, ОКР, патентных документов (ПД), конъюнктурной информации</p>	<p>Анализ ТС-прототипа по законам развития технических систем (ЗРТС):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- определение положения ТС на S-образной кривой;</li> <li>- применение к ТС выявленных в ТРИЗ ЗРТС</li> </ul>	<p>Формирование системы прогнозных моделей.            Выявление задач (административных противоречий (АП), технических (ТП), физических (ФП)).            Изучение тенденций развития:            составление экспертного прогноза развития БТС;</p>

Продолжение табл. 1.8.11

1	2	3	4
	<p><b>(создание информационной базы прогноза).</b> Результат: выявление всех путей развития – отбор наиболее обоснованных вариантов.</p>		<p>изучение истории и перспектив развития БТС по НТЛ и ПД; определение внешних и внутренних факторов, стимулирующих развитие данной БТС; выявление динамики и тенденций факторов развития и торможения, пределов и ограничений</p>
3	<p><b>Создание гипотетической модели объекта.</b> Изучение закона изменения объекта в прошлом (на участке ретроспекции) и создание модели будущей</p>	<p>Функционально-идеальное моделирование (свертывание) систем</p>	
4	<p><b>Выбор метода (ов) прогнозирования.</b> Формулировка рабочей гипотезы прогноза, выбор математической модели и алгоритма статистической обработки информации.</p>	<p>Анализ возможностей применения фонда физических, химических, геометрических, биологических эффектов для реализации внешних функций ТС новым способом. Определение априорного сверхэффекта – разрешение прогностических технических противоречий (ПТП)</p>	
5	<p><b>Составление прогноза (по всем структурным элементам и параметрам).</b> <b>Объединение прогнозов</b></p>	<p>Усиление выявленных ПТП, их предельное обострение. Разрешение с помощью ТРИЗ ключевого ПТП. Выявление сверхэффекта от полученного решения. Повторение работ для всех последних ключевых ПТП.</p>	<p>Прогнозирование по ЗРТС:  закон S-образного развития; закон повышения степени идеальности; закон согласования-рассогласования; закон динамизации; закон перехода на микроуровень; закон развертывания-свертывания;</p>

	2	3	4
		Согласование между собой отдельных линий прогноза, связанных с разрешением различных ПТП. Составление сводного прогноза-описания новой конструкции и технологии ТС	закон повышения полноты ТС. Прогнозирование ошибок, недостатков и опасностей в развитии. Завершение прогноза
6	<b>Верификация прогноза – оценка достоверности</b> <b>Методы повышения достоверности:</b> взаимодействие разных прогностических методов, их сочетание; дублирование их с целью уточнения прогнозных вариантов	<b>Прогнозная подготовка производства:</b> составление по результатам прогнозирования технических заданий (ТЗ) на оборудование, оснастку; составление «хозяйственного прогноза» – плана перестройки производства	Повторное прогнозирование с учетом разрешения всех или части сформулированных противоречий. Выявление новых противоречий  Составление перспективного плана работы по развитию ТС на базе полученного сценария развития

### Вопросы для самопроверки

1. В чем состоит сущность концепций определенности, риска и неопределенности?
2. Назовите основные виды неопределенности
3. Что понимается под риском и какова его природа? Каковы разновидности и типы рисков?
4. Что скрывается под субъективными и объективными факторами риска? Какова шкала допустимого риска?
5. Назовите методы оптимизации, используемые ЛПР в условиях определенности и раскройте суть методов выбора альтернатив в этих условиях.
6. Каковы основные методы выбора альтернатив в условиях риска и какова их сущность?
7. Назовите методы выбора альтернатив в условиях неопределенности и раскройте сущность критериев, применяемых при этом.

8. Сколько времени тратит современный руководитель на совещания и какие типы совещаний вам известны?
9. Расскажите о правилах подготовки и проведения совещаний. Как организуется дискуссия и завершается совещание, каков характерный типаж участников совещаний и каковы достоинства и недостатки совещаний?
10. Что есть прогноз и почему все прогнозные исследования начинаются обычно с составления научно-технических прогнозов?
11. Какие есть классы прогнозов? Какова их направленность и сущность? Что такое период упреждения прогноза и его комплексность?
12. Что понимается под качественными и количественными методами прогнозирования? Назовите основные методы.
13. Каков смысл методов экспертизы, экстраполяции тенденций (трендов) и аналогии? В чем состоит основная идея методов экстраполяции? На каких участках кривой жизненного цикла систем метод экстраполяции не работает?
14. Почему в качестве эффективного метода прогнозирования может рассматриваться научно-фантастическая литература?
15. Какова роль прогнозирования по патентной информации? Почему методы патентной экспертизы и сканирования научного задела относятся к опережающим методам прогнозирования?
16. В чем суть методики прогнозирования Н.М. Тимофеевой, основанной на исследовании изобретательской активности?
17. Каковы, по К.С. Касаеву, естественные принципы, лежащие в основе выработанных природой действий по развитию различных её объектов во времени и пространстве, которые необходимо использовать при создании новых перспективных искусственных систем?
18. В чем состоит специфика и отличие методов прогнозирования на базе ТРИЗ (методики Литвина-Герасимова и Злотина-Зусман) от традиционных методов прогнозирования?

## **РАЗДЕЛ 2. ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ**

### **ТЕМА 2.1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

#### **2.1.1. Этапы математического моделирования**

В настоящее время в различных областях знаний завоевал большое признание метод математического моделирования. В его основе лежит приближенное описание какого-либо класса процессов и явлений символами математики и логики. Процесс математического моделирования можно разделить на четыре этапа.

Первый этап – определение класса изучаемых объектов и законов, связывающих рассматриваемые объекты. Этот этап требует знания множества фактов, относящихся к изучаемым явлениям, и глубокого проникновения в их взаимосвязи. Результатом этого этапа является запись в математических терминах сформулированных качественных представлений о связях между объектами моделирования, т.е. построение математической модели.

Второй этап – это получение результатов с помощью математической модели для дальнейшего их сопоставления с результатами наблюдений изучаемых явлений. Здесь важную роль играет математический аппарат, необходимый для анализа математической модели, и вычислительная техника, позволяющая количественно решить сложные математические задачи.

Третий этап – выяснение того, удовлетворяет ли принятая гипотетическая модель критерию практики, т.е. согласуются ли результаты наблюдений с теоретическими следствиями модели и если да, то с какой точностью. Применение критерия практики к оценке математической модели позволяет делать вывод о правильности положений, лежащих в основе изучаемой модели. Метод моделирования является единственным методом изучения непосредственно недоступных явлений макро- и микромира.

Четвертый этап состоит в анализе модели в соответствии с накопленными данными об изучаемых явлениях и процессах и в усовершенствовании модели.

Экономическое прогнозирование, которое наиболее системно реализуется с помощью математических моделей, является ключевым моментом в процессе принятия управленческих решений. Прогнозирование позволяет не только получить значения экономических показателей в будущем, оценить эффективность управленческой деятельности, но и выявить возможные ее направления в зависимости от изменения того или иного фактора, влияющего на принятие управленческих решений.

Несомненным преимуществом математических моделей является то, что оценка вариантов управленческих решений может осуществляться, с одной стороны, с учетом прогнозных значений экономических показате-

лей, а не только фактических данных, с другой стороны, с учетом ресурсных затрат, необходимых для реализации конкретных мероприятий и программ.

Еще одним несомненным достоинством математического моделирования, облегчающим процесс анализа информации и принятия решения, является возможность использования при изучении исследуемых моделей ЭВМ.

### **2.1.2. Основные понятия математического моделирования**

Существует известное изречение, что правильно поставить задачу – значит наполовину решить ее. Следует признать, что правильная постановка задачи является сама по себе сложной задачей. Однако методология процесса постановки задач (как первого этапа операционного исследования) выходит за рамки проблематики данного раздела, посвященного математическим аспектам решения задач организационного управления. Для этого очень важно суть задачи словесно описать таким образом, чтобы были возможны дальнейшая формализация и разработка математической модели, то есть описание задачи на математическом языке.

Формальная структура постановки задач базируется на определенной совокупности элементов. Соотнесение всех условий задачи этим элементам позволяет «обнажить» суть задачи и, в конечном итоге, получить ее четкую, однозначно понимаемую формулировку.

Принято выделять следующие элементы общей структуры задач принятия решений:

- а) цели, ради достижения которых принимается решение;
- б) множество управляемых (разрешающих) переменных, значения которых могут определяться лицом, принимающим решение (ЛПР);
- в) множество внешних (*экзогенных*) переменных, значения которых не контролируются ЛПР и имеют вероятностный или неопределенный характер;
- г) множество параметров, которые также не контролируются, но считаются в условиях данной задачи вполне определенными;
- д) ограничения – предельные значения тех параметров и неконтролируемых переменных, которые не могут быть превзойдены или не достигнуты при реализации решения;
- е) решение (или стратегия) – некоторая допустимая совокупность значений управляемых переменных;
- ж) критерий эффективности (показатель качества) решения, на основе которого производится оценка и сравнение вариантов решений, и выбор лучшего.

Предполагается, что приведенные выше элементы должны быть измеримыми, то есть иметь характер «количества» или, по меньшей мере, «величины».

Тогда дальнейший процесс разработки математической модели задачи будет сводиться к изучению взаимосвязей между целями, переменными и параметрами и отражению этих взаимосвязей в виде математических выражений (уравнений, неравенств и т.п.).

Среди этих выражений можно выделить две группы:

К первой отнесем условия достижения целей, т.е. выражения, отображающие зависимости между управляемыми переменными и поставленными целями.

Ко второй группе относятся выражения, отображающие условия-ограничения, описывающие связи между управляемыми переменными и теми из параметров и «внешних» переменных, которые или не могут быть превзойдены, или не достигнуты при реализации решения. (В отечественной литературе математические выражения, как правило, на упомянутые группы не подразделяются и обозначаются единым термином – «ограничения»).

Совокупность значений управляемых переменных, удовлетворяющих системе указанных выше выражений (условиям достижения целей и ограничениям), принято называть *допустимым решением* (стратегией, планом).

Множество допустимых решений называется *областью допустимых решений*.

Поскольку проблема принятия решения заключается не только в нахождении допустимого решения, но и в выборе наилучшего из них по принятому критерию, – возникает необходимость определения значения критерия в зависимости от значений контролируемых переменных.

Функция, определяющая эту зависимость, называется *целевой функцией*.

Таким образом, совокупность (система) математических выражений, отражающих условия достижения целей и условия выполнения ограничений, вместе с целевой функцией и представляют собой *математическую модель задачи*.

Допустимое решение, при котором значение целевой функции достигает экстремума (минимального или максимального значения в зависимости от условий задачи), называется *оптимальным решением*.

Приведенные понятия (элементы структуры задач принятия решений) являются наиболее общими. Далее, при рассмотрении отдельных типов задач, понятийный аппарат будет расширен. Так, например, при изучении задач массового обслуживания будут введены такие понятия, как дисциплина очереди, канал обслуживания, интенсивность обслуживания и др.; в задачах упорядочения и координации (управление проектами) – такие понятия, как критические работы, резервы времени и т.п.; в состязательных

задачах (теория игр) – понятия ход, платежная матрица, чистые и смешанные стратегии и т.д.

При постановке задачи и ее моделировании необходимо прежде всего оценить, какой из формулировок принципа экономичности соответствует данная ситуация принятия решения.

Принцип экономичности может формулироваться двояко:

- заданных целей (результатов) достигнуть при минимальных затратах;
- при заданных пределах затрат достигнуть цели в максимальной степени (достичь максимума результата).

Принцип экономичности в первой формулировке иногда называют «принципом экономии средств», во второй – «принципом максимального эффекта». Если задача формулируется по «принципу максимального эффекта», то целевая функция является условием достижения цели (цель – максимум результата), остальные математические выражения, входящие в модель, – суть условия-ограничения.

Часто принцип экономичности формулируют так:

«достигнуть максимальной степени реализации цели (максимального результата) при минимальных затратах». Такое определение неверно, внутренне противоречиво с содержательной точки зрения и ведет к постановке математически неразрешимой задачи.

Кроме того, у руководителей возникает искушение оптимизировать решение задачи по нескольким критериям. Например, следующим образом: «найти такое решение, которое обеспечило бы максимум прибыли при минимуме годовых издержек на содержание производства и минимуме капитальных вложений».

При всей внешней привлекательности и кажущейся естественности – такая постановка ведет к неразрешимой задаче. Желательно, как правило, стремиться так формулировать задачи, чтобы при множественности целей и ограничений, критерий оптимизации решения (а, стало быть, и целевая функция) был один. Это еще раз подтверждает важность правильного обоснования цели и критерия эффективности при постановке задачи, так как при этом определяется и выбор соответствующего варианта формулировки принципа экономичности.

Рассмотренные в данном разделе модели и методы оптимизации ориентированы преимущественно на решение однокритериальных задач.

Следует отметить, что в ряде сложных организационных задач возникает проблема многокритериальности. Некоторые подходы к постановке и решению такого рода задач будут рассмотрены в теме 2.9.

### 2.1.3. Основные типы экономико-математических моделей

Математические модели, используемые в экономике, можно разделить на следующие классы:

*Макроэкономические модели* представляют экономику страны как единое целое, оперируя укрупненными материальными и финансовыми показателями: ВВП, потребление, занятость, инвестиции, процентные ставки, количество денег и пр.

*Микроэкономические модели* описывают структурные и функциональные составляющие экономики либо отдельных предприятий, и их взаимодействие. Разнообразие этих составляющих и форм их взаимодействия диктует и разнообразие микроэкономических моделей, составляющих основную часть экономико-математической теории.

*Теоретические модели* изучают общие свойства экономики, ее характерные элементы дедуктивными методами, используя формальные предпосылки.

*Прикладные модели* служат для описания конкретного экономического объекта и выработки рекомендаций по его совершенствованию. К ним относятся, в первую очередь, эконометрические модели, позволяющие на основе статистических значений экономических переменных оценивать их, выявлять взаимосвязи и принимать практические решения.

*Равновесные модели* описывают такие состояния экономических объектов, когда результирующая сил, стремящихся вывести их из текущего состояния, равна нулю, при этом ни один из экономических субъектов не заинтересован в изменении состоянии объекта с помощью средств, которыми он располагает.

*Статические модели* предназначены для описания экономических объектов в конкретный период времени. В них фиксированы значения некоторых величин, которые являются переменными в динамике, – например, капитальные ресурсы, цены и т.п.

*Динамические модели* описывают взаимосвязи переменных во времени. Они не сводятся к сумме ряда статических, а включают описание сил и взаимодействий в экономике в процессе их развития. При разработке динамических моделей используются дифференциальные и разностные уравнения, вариационное исчисление.

*Детерминированные модели* предполагают определенные значения используемых переменных и жесткие функциональные связи между ними.

*Стохастические модели* предполагают наличие случайно распределенных исследуемых показателей и связей между ними, используя при этом методы теории вероятностей и математической статистики для их описания.

### 2.1.4. Примеры экономико-математических моделей

Пример 1. Рассмотрим проблему математического моделирования на примере задачи оптимизации параметров реорганизационной политики.

Для большинства неплатежеспособных предприятий неудовлетворительная структура баланса отождествляется с отставанием фактического уровня текущей ликвидности от его норматива ( $K_{тл} < 2$ ) даже при достаточном уровне обеспеченности собственными средствами ( $K_{осс} \geq 0,1$ ).

Реорганизационные политики – процедуры реструктуризации балансов – позволяют перевести их в удовлетворительную структуру за счет реализации специально подобранного комплекса организационно-технических мероприятий. Но однозначно выбрать для практической реализации из возможных вариантов реорганизационных политик один, наиболее рациональный затруднительно, так как, если по прогнозируемым показателям платежеспособности, структуры баланса они равнозначны, то по прогнозным финансовым результатам могут быть противоречивыми.

Оценить предпочтительность каждого из этих вариантов оказывается возможным, если сформулировать задачу оптимизации реорганизационных политик с помощью математической модели, которая будет определяться текущим уровнем финансовой состоятельности, прежде всего, сложившимся уровнем платежеспособности.

Задача оптимизации основных параметров текущей деятельности может быть представлена следующей общей постановкой:

$$\min F(x) = \sum_{i=1}^n \delta_i x_i;$$
$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n a_i x_i \geq q; \\ w = \sum_{i=1}^n x_i \leq \alpha; \\ p_i' \leq \rho_i x_i \leq p_i''; \end{cases}$$

где  $F(x)$  – целевая функция задачи;

$x_i$  – независимые искомые переменные по направлениям реорганизационной политики (вектор управления структурой имущества: искомая величина продаж одного вида средств, приобретения другого, погашения долгов);

$\delta_i$  – экспертная оценка приоритетности  $i$ -го направления реорганизации;

$w$  – константа обеспечения текущей ликвидности ( $w = 2KЗ - OA$ ;  $KЗ$  – краткосрочная задолженность,  $OA$  – оборотные активы);

$a_i$  – коэффициенты при неизвестных переменных в ограничении на обеспеченность собственными оборотными средствами;

$q$  – минимально-допустимый уровень обеспеченности собственными оборотными средствами ( $q = \text{BA} + 0,1\text{OA} - \text{KP}$ ; BA – внеоборотные активы, KP – капитал и резервы);

$a$  – верхний предел допустимых продаж и приобретений активов;

$p_i', p_i''$  – соответственно нижняя и верхняя границы возможного изменения  $i$ -го вида активов;

$\rho_i$  – удельный вес  $i$ -го вида активов предприятия в общей стоимости его имущества.

В частности, применительно к типичной неудовлетворительной структуре баланса  $\text{Kтл} < 2$ ,  $\text{Косс} \geq 0,1$ , характерной для большинства неплатежеспособных предприятий, ищем такие  $x_1$  – объем продаж части активов,  $x_2$  – размер погашения кредиторской задолженности, чтобы выполнялось условие  $\text{Kтл} = 2$  при сохранении  $\text{Косс} \geq 0,1$ . Тогда модель приобретает вид:

$$\text{Kтл} = (\text{OA} + x_1 - x_2)/(\text{KЗ} - x_2) = 2, \text{ откуда } x_1 + x_2 = 2\text{KЗ} - \text{OA};$$

$$\text{Косс} = (\text{KP} - \text{BA} + x_1)/(\text{OA} + x_1 - x_2) \geq 0,1, \text{ откуда}$$

$$0,9 x_1 + 0,1 x_2 \geq \text{BA} + 0,1\text{OA} - \text{KP};$$

$$x_2 - x_1 \leq \alpha \cdot \text{OA};$$

$$x_1 \leq \beta \cdot \text{BA};$$

$$x_2 \leq \gamma \cdot \text{KЗ},$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  – предельно допустимые для сохранения статуса деятельности предприятия размеры уменьшения соответственно оборотных активов (например, до 20%), внеоборотных активов (10%), краткосрочной задолженности (50%).

Целевая функция:

$$\min(\delta_1 x_1 + \delta_2 x_2),$$

где  $\delta_1, \delta_2$  – экспертные оценки значимости продажи имущества и погашения наиболее срочных обязательств.

Приведенная выше задача может быть решена методами линейного программирования, которые будут рассмотрены в теме 2.2. Однако встречаются математические модели, которые решить аналитически невозможно. Для их решения существуют специальные методы численного решения. Особенностью таких методов является наличие погрешности в результатах. Погрешность в результатах определяется неточностью модели, т.е. ошибочностью или недостаточностью положений, лежащих в основе построенной модели, и погрешностью математических методов, с помощью которых проводился анализ изучаемой модели.

Представленные ниже в темах 2.2–2.9 модели и методы в основном ориентированы на те задачи, которые попадают в сферу исследования операций в управленческой и экономической деятельности и могут быть полностью или частично использованы при их математическом моделировании.

**Пример 2.** Из четырёх видов основных материалов (медь, цинк, свинец, никель) составляют три вида сплавов латуни: обычный, специальный и для художественных изделий. Цены единицы веса меди, цинка, свинца и никеля составляют 0,8 руб., 0,6 руб., 0,4 руб. и 1,0 руб., а единицы веса сплава, соответственно, 2 руб., 3 руб., 4 руб. Сплав для художественных изделий должен содержать не менее 6% никеля, не менее 50% меди и не более 30% свинца; специальный – не менее 4% никеля, не менее 70% меди, не менее 10% цинка и не более 20% свинца. В обычный сплав компоненты могут входить без ограничения. Производственная мощность предприятия позволяет выпускать (за определённый срок) не более 400 ед. веса обычного сплава, не более 700 ед. веса специального сплава и не более 100 ед. веса сплава для художественных изделий.

Построить математическую модель задачи нахождения производственного плана, обеспечивающего максимальную прибыль.

Решение. Обозначим через  $x_{ij}$  долю  $i$ -той компоненты (1-медь, 2- цинк, 3-свинец, 4-никель) в  $j$ -том виде сплава (1-обычный, 2-специальный и 3- для художественных изделий).

Тогда получим следующие ограничения модели:

$$\begin{aligned}x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} &= 1; \\x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} &= 1; \\x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} &= 1.\end{aligned}\tag{2.1.1}$$

Ограничения на количество компонент в смесях:

$$\begin{aligned}x_{12} \geq 0.7; x_{22} \geq 0.1; x_{32} \leq 0.2; x_{42} \geq 0.04; \\x_{13} \geq 0.5; x_{33} \leq 0.3; x_{43} \geq 0.06.\end{aligned}\tag{2.1.2}$$

Требование неотрицательности переменных:

$$x_{ij} \geq 0. \quad i=1, \dots, 4, j=1, 2, 3.\tag{2.1.3}$$

Целевая функция представляет собой сумму величин прибыли, получаемой с единицы веса каждого сплава:

$$\begin{aligned}2(0.8x_{11} + 0.6x_{21} + 0.4x_{31} + x_{41}) + \\3(0.8x_{12} + 0.6x_{22} + 0.4x_{32} + x_{42}) + \\4(0.8x_{13} + 0.6x_{23} + 0.4x_{33} + x_{43}) \rightarrow \max\end{aligned}\tag{2.1.4}$$

Ограничения (2.1.1-2.1.3) и целевая функция (2.1.4) представляют собой модель для получения искомой информации.

### Вопросы для самопроверки

1. Классификация экономико-математических моделей.
2. Сущность и значимость экономико-математического моделирования.
3. Этапы экономико-математического моделирования.
4. Область применения экономико-математических моделей.
5. Экономическая значимость каждого этапа моделирования.
6. Сущность критерия практики.
7. Обязательные элементы математической модели.
8. Что такое оптимальное решение?

9. Что представляют собой ограничения экстремальной задачи?
10. Что представляет собой целевая функция экстремальной задачи.
11. Приведите примеры экономико-математических моделей.

## **ТЕМА 2.2. ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ**

### **2.2.1. Моделирование задачи оптимизации производства методами линейного программирования**

Линейное программирование является одним из методов решения общих задач оптимизации, в которых учитывается большое число переменных, подчиненных определенным ограничениям. При решении этих задач необходимо получить оптимальное значение определенного критерия эффективности (функции цели), например прибыли, затрат, количества произведенных продуктов или других показателей, при условии, что удовлетворяются поставленные ограничения. Эти ограничения в свою очередь носят различный характер и объясняются условиями производства, управления, сбыта, хранения, наличием сырья или законодательными положениями.

Линейное программирование можно использовать для решения задач оптимизации, в которых выполняются следующие условия:

1. Необходимо наличие линейной функции цели, оптимальное значение которой необходимо отыскать. Требование линейности существенно для применения методов, изложенных в этой и следующей теме. Линейность означает, например, что для изготовления 10 изделий потребуется в 10 раз больше средств, чем для получения одного изделия, или для получения 5 изделий уйдет в 5 раз больше времени, чем на изготовление одного изделия, и т.д. Если же такое допущение пропорциональной зависимости неверно или нельзя получить линейную функцию за счет преобразования переменных, то методы линейного программирования неприменимы.

2. Ограничения также должны быть заданы в виде системы линейных равенств или неравенств.

Если задача поставлена правильно, то можно использовать методы линейного программирования для ее решения.

Рассмотрим следующую производственную задачу:

Необходимо произвести два вида продукции в объемах  $x_1$  и  $x_2$ , используя три ресурса, которые имеются в количестве  $b_1, b_2, b_3$ , соответственно. Известны нормативы потребления ресурсов на производство единицы первого и второго вида продукции:

$a_{11}$  – количество первого ресурса, необходимого для производства единицы первого вида продукции;

$a_{12}$  – количество первого ресурса, необходимого для производства единицы второго вида продукции;

$a_{21}$  – количество второго ресурса, необходимого для производства единицы первого вида продукции;

$a_{22}$  – количество второго ресурса, необходимого для производства единицы второго вида продукции;

$a_{31}$  – количество третьего ресурса, необходимого для производства единицы первого вида продукции;

$a_{32}$  – количество третьего ресурса, необходимого для производства единицы второго вида продукции.

Пусть  $c_1$  и  $c_2$  – прибыль от реализации единицы первого и второго вида продукции. Это постоянные факторы данной задачи.

**Пример 2.2.1.** Придадим постоянным факторам конкретные числовые значения и сведем их в табл.2.2.1.

Таблица 2.2.1

	Изделие 1 ( $x_1$ )	Изделие 2 ( $x_2$ )	Наличие
Ресурс 1	$a_{11} = 2$	$a_{12} = 1$	$b_1 = 12$
Ресурс 2	$a_{21} = 2$	$a_{22} = 3$	$b_2 = 18$
Ресурс 3	$a_{31} = 1$	$a_{32} = 3$	$b_3 = 15$
Прибыль	$c_1 = 5$	$c_2 = 6$	

Производственная задача формулируется следующим образом:

Найти такие объемы производства продукции  $x_1$  и  $x_2$ , при которых потребление ресурсов в соответствии с нормативами не превышало бы их наличия, и при этом прибыль от реализации продукции была бы максимальной.

Предполагая, что количество потребляемых ресурсов, а также прибыль пропорциональны объемам производства, получаем следующую математическую модель задачи:

$$\begin{aligned}
 \text{(I)} \quad & 2x_1 + 1x_2 \leq 12 \\
 \text{(II)} \quad & 2x_1 + 3x_2 \leq 18 \\
 \text{(III)} \quad & 1x_1 + 3x_2 \leq 15 \\
 & x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0, \\
 & F = 5x_1 + 6x_2 \rightarrow \max.
 \end{aligned}
 \tag{2.2.1}$$

Система неравенств (2.2.1) отражает ограничения на потребляемые ресурсы, а целевая функция  $F$  определяет прибыль, которую необходимо максимизировать. Пару чисел  $x_1$  и  $x_2$ , удовлетворяющих системе ограничений (2.2.1), будем называть допустимым планом, а допустимый план, дающий максимальное значение целевой функции  $F$  – оптимальным планом (решением).

## 2.2.2. Геометрическая интерпретация задачи линейного программирования

Каждой паре чисел  $x_1$  и  $x_2$  поставим в соответствие точку плоскости (2-мерного пространства) с координатами  $x_1$  и  $x_2$ , тогда каждое ограничение (2.2.1) задает полупространство, а вся система (2.2.1) определяет многоугольник (в  $n$ -мерном пространстве – многогранник), полученный в результате их пересечения. В общем случае многогранник может быть неограниченным или пустым (система неравенств противоречива).

В примере 2.2.1 множество допустимых планов соответствует на плоскости множеству точек многоугольника OABCD (рис 2.2.1.).

Целевая функция  $F=5x_1 + 6x_2$  определяет на плоскости семейство прямых линий (в  $n$ -мерном пространстве – плоскостей), параллельных друг другу, причем, чем дальше прямая от точки O, тем большее значение принимает целевая функция. Таким образом, оптимальное решение будет в точке многоугольника OABCD, где целевая функция касается этого многоугольника при удалении от точки O.

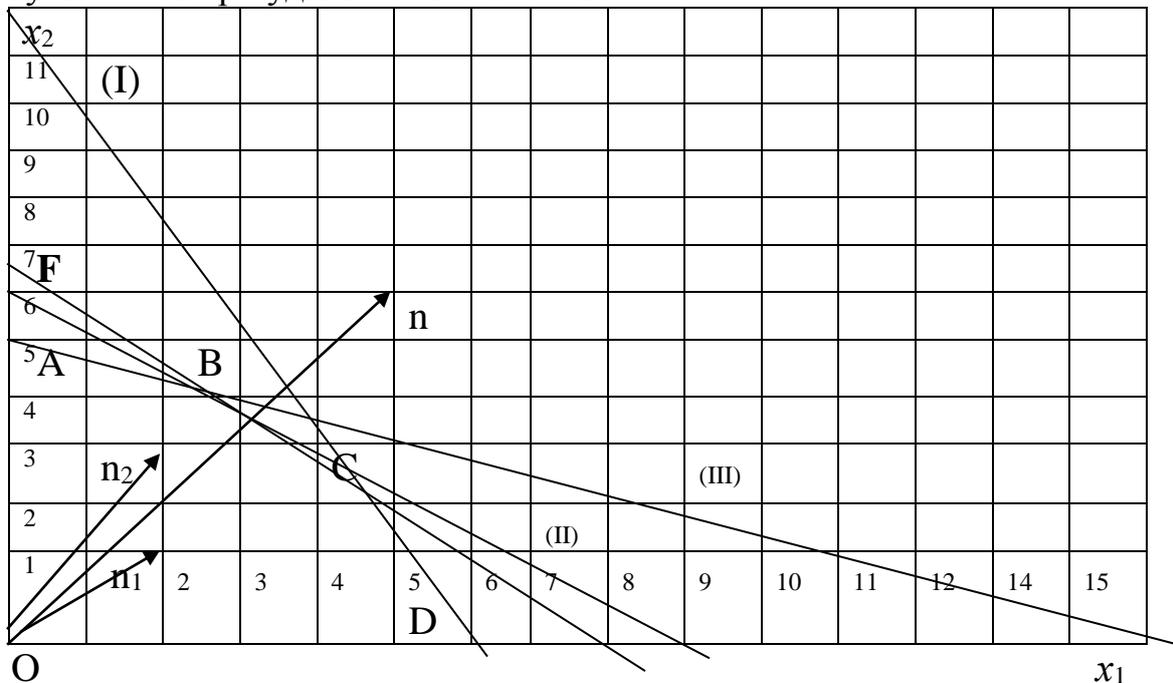


Рис. 2.2.1. Графическое представление задачи 2.1

В нашем примере это будет вершина многоугольника C с координатами (примерно)  $x_1=4.5$ ;  $x_2=3$ . Для точного определения координат точки C рассмотрим уравнения прямых, пересечение которых ее образовало.

Получаем систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} 2x_1 + 1x_2 = 12, \\ 2x_1 + 3x_2 = 18, \end{cases}$$

решив которую получим точные значения  $x_1=4.5$ ;  $x_2=3$ .

Метод решения системы линейных уравнений может быть использован любой, однако, в целях сокращения объема вычислений при дальнейшем изложении предлагается метод Крамера.

Напомним кратко его суть:

Для решения системы

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 = b_2, \end{cases}$$

вычисляем  $\Delta = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}$ ,

$$\Delta_1 = b_1a_{22} - a_{12}b_2,$$

$$\Delta_2 = a_{11}b_2 - b_1a_{21},$$

и затем  $x_1 = \Delta_1 / \Delta$ ;  $x_2 = \Delta_2 / \Delta$ .

В нашем примере:  $\Delta = 2 \times 3 - 1 \times 2 = 4$ ,

$$\Delta_1 = 12 \times 3 - 1 \times 18 = 18,$$

$$\Delta_2 = 2 \times 18 - 12 \times 2 = 12,$$

откуда  $x_1 = 18/4 = 4.5$ ,  $x_2 = 12/4 = 3$  (совпало с первоначальным приближением).

Вычислим значение целевой функции в точке C:

$$F = 5 \times 4.5 + 6 \times 3 = 40.5.$$

Таким образом мы решили поставленную задачу, нашли объемы производства  $x_1$  первого и  $x_2$  второго вида продукции, удовлетворяющие ограничениям (2.2.1) и доставляющие максимальное значение целевой функции  $F = 40.5$  усл.ед.

**Пример 2.2.2.** Рассмотрим задачу о диете, хотя аналогичной математической моделью можно описывать и другие задачи.

Таблица 2.2.2

Виды кормов	Содержание в 1 кг			Себестоимость 1 кг (усл. ед).
	Кормовых ед.	Белок(г)	Кальций (г)	
Сено ( $x_1$ )	0.5	50	10	1.5
Концентраты( $x_2$ )	1	200	2	2.5
Норматив	20	2000	100	

Под нормативом понимается необходимый минимум питательных веществ суточного рациона. В этой задаче необходимо найти такие объемы кормов  $x_1, x_2$ , чтобы обеспечить содержание в них кормовых единиц, белка и кальция не менее нормативного при минимальной стоимости. Опять же предполагая, что количество полезных веществ, а также стоимость пропорциональны объемам кормов, получаем следующую математическую модель задачи:

$$\begin{aligned}
 \text{(I)} \quad & 0.5 x_1 + 1x_2 \geq 20 \\
 \text{(II)} \quad & 50 x_1 + 200 x_2 \geq 2000 \\
 \text{(III)} \quad & 10 x_1 + 2 x_2 \geq 100 \\
 & x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \\
 & F = 1.5 x_1 + 2.5 x_2 \rightarrow \min.
 \end{aligned}
 \tag{2.2.2}$$

Геометрическую интерпретацию данной задачи приведем на рис. 2.2.2.

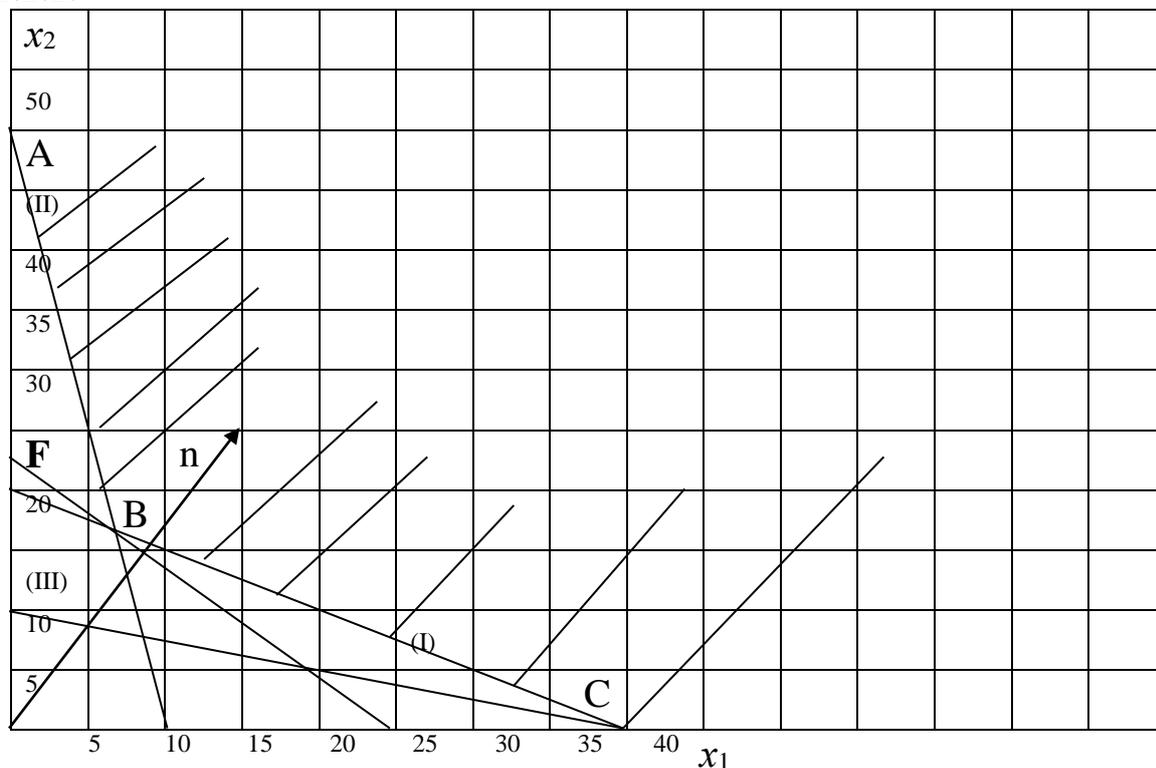


Рис. 2.2.2. Графическое представление задачи 2.2.2

В данном случае множество допустимых планов представляет собой неограниченный многоугольник, заштрихованный на рис.2.2.2.

Целевая функция принимает наименьшее значение в точке B.

Визуально на графике координаты этой точки  $x_1 \cong 7$ ,  $x_2 \cong 17$ .

Сделаем аналитическую проверку:

$$\Delta = 0.5 \times 2 - 1 \times 10 = -9,$$

$$\Delta_1 = 20 \times 2 - 1 \times 100 = -60,$$

$$\Delta_2 = 0.5 \times 100 - 20 \times 10 = -150.$$

$$\text{Откуда } x_1 = -60 / -9 = 6.67, \quad x_2 = -150 / -9 = 16.67.$$

### 2.2.3. Общая задача линейного программирования

Мы рассмотрели сейчас предельно упрощенные примеры, преследуя исключительно иллюстративные цели, однако их анализ позволит осмыслить общие идеи и математические методы, лежащие в основе решения подобных задач.

В обоих примерах множество допустимых планов определяется точками выпуклого многогранника, полученного в результате пересечения полупространств, заданных линейными неравенствами (2.2.1) и (2.2.2). Линейная целевая функция при двух переменных задает на плоскости семейство параллельных прямых, при трех переменных – семейство параллельных плоскостей в трехмерном пространстве, а в случае  $n$  переменных – семейство параллельных  $(n-1)$ -мерных пространств (гиперплоскостей) в  $n$ -мерном пространстве.

Линейные ограничения и линейная целевая функция появились в наших примерах благодаря предположению о пропорциональной зависимости переменных и постоянных факторов.

В силу этого подобный класс задач называют задачами линейного программирования.

Геометрически решение задачи линейного программирования сводится к следующим этапам:

а) определение области допустимых планов, т.е. построение соответствующего ограничениям многогранника;

б) перемещение гиперплоскости целевой функции в пространстве параллельно самой себе до тех пор, пока она не будет максимально (минимально) удалена от начала координат и при этом будет иметь хотя бы одну общую точку с многогранником допустимых планов.

Этой точкой, как мы видели, будет вершина многогранника, хотя может быть грань или ребро в случае параллельности гиперплоскости целевой функции какой-либо грани или ребру многогранника.

Координаты этой вершины и будут определять оптимальное решение. Если целевая гиперплоскость касается грани или ребра, то в этом случае получается множество оптимальных планов, имеющих одно и тоже максимальное (либо минимальное) значение целевой функции.

Из анализа решения примеров делаем важный вывод:

Оптимальному плану соответствует точка в области допустимых планов (возможно неединственная), являющаяся вершиной многогранника допустимых планов. На этом основана идея метода решения задачи линейного программирования, заключающаяся в том, что для нахождения оптимального плана достаточно просматривать лишь вершины многогранника допустимых планов.

Решение (план), которому соответствует вершина многогранника, называется базисным. Для нахождения базисного плана необходимо решить систему из  $n$  линейных уравнений с  $n$  неизвестными.

Разработанный в 1949г. Дж. Данцигом симплекс-метод основан на последовательном переходе от одной вершины многогранника допустимых планов к соседней, в которой линейная целевая функция принимает лучшее (не худшее) значение до тех пор, пока не будет найдено оптимальное решение.



2. Целевая функция не ограничена в области допустимых планов, ее максимум ( или минимум)  $\rightarrow +\infty$  ( $-\infty$ ).

3. Оптимальное решение единственное (целевая функция касается области допустимых планов в единственной вершине, ее координаты и определяют оптимальный план).

4. Существует некоторое множество оптимальных решений (планов).

Если задача экономически поставлена правильно, то 1-й и 2-ой случаи исключаются.

#### 2.2.4. Устойчивость оптимального решения

Рассмотрим теперь понятие устойчивости оптимального решения.

В первом примере (см. рис 2.2.1.) оптимальное решение находится в точке С, которая является пересечением двух прямых, заданных уравнениями

$$2x_1 + 1x_2 = 12, \quad (I)$$

$$2x_1 + 3x_2 = 18. \quad (II)$$

Целевая функция  $F=5x_1 + 6x_2$  (здесь  $c_1=5$ ,  $c_2=6$ ) максимальное значение приняла в точке С. После составления плана и его реализации в конкретной производственной программе  $c_1$  и  $c_2$  (удельная прибыль или затраты) могут изменяться. Зададимся следующим вопросом.

При каком соотношении коэффициентов целевой функции  $c_1$  и  $c_2$  оптимальное решение сохранится (устойит) в точке С?

Из курса высшей математики (раздел аналитической геометрии) нам известно, что коэффициенты, стоящие перед переменными  $x_1$  и  $x_2$  в уравнении прямой суть координаты вектора, перпендикулярного данной прямой (т.н. нормаль). На рис.2.2.1 нормаль к целевой функции обозначена  $n$ , нормаль к ограничению (I)  $n_1$  и нормаль к ограничению (II)  $n_2$ .

Чтобы оптимальное решение сохранялось в точке С при изменяющихся коэффициентах  $c_1$  и  $c_2$  необходимо, чтобы вектор нормали  $n$  лежал между векторами  $n_1$  и  $n_2$ . Для этого необходимо, чтобы тангенс угла между вектором  $n$  и осью  $x_1$  (обозначим через  $\text{tg}(n, x_1)$ ) был больше  $\text{tg}(n_1, x_1)$ , но меньше  $\text{tg}(n_2, x_1)$ . Таким образом, для обеспечения устойчивости оптимального решения в точке С необходимо выполнение условия:

$$\text{tg}(n_1, x_1) \leq \text{tg}(n, x_1) \leq \text{tg}(n_2, x_1).$$

Так как  $\text{tg}(n, x_1) = c_2/c_1$ ,

$$\text{tg}(n_1, x_1) = a_{12}/a_{11} = 1/2,$$

$$\text{tg}(n_2, x_1) = a_{22}/a_{21} = 3/2,$$

окончательно получаем для примера 2.2.1 соотношение устойчивости оптимального решения в виде:

$$1/2 \leq c_2/c_1 \leq 3/2.$$

В случае  $n$  переменных получаем много соотношений аналогичного вида между всеми  $c_k$  и  $c_j$  ( $k \neq j$ ) показывающих, при каких условиях изменение

коэффициентов целевой функции не повлечет изменение оптимального решения.

Подставляя вместо  $c_1$  и  $c_2$  их значения получим проверочные соотношения

$$1/2 \leq 6/5 \leq 3/2.$$

Для второй задачи соотношение устойчивости оптимального решения будет иметь вид:

$$2/10 \leq c_2/c_1 \leq 1/0.5,$$

а проверочное соотношение

$$2/10 \leq 2.5/1.5 \leq 1/0.5.$$

### 2.2.5. Объективно-обусловленные оценки

Рассмотрим опять пример 2.2.1.

Оптимальное решение было найдено в точке С с координатами  $x_1=4.5$ ;  $x_2=3$ . Существенными оказались ограничения (I) и (II), они в точке оптимального плана обращаются в равенство:

$$2 \times 4.5 + 1 \times 3 = 12,$$

$$2 \times 4.5 + 3 \times 3 = 18,$$

т.е. эти ресурсы используются полностью, тогда как третий ресурс (несущественное ограничение (III)) оказывается в избытке:

$$1 \times 4.5 + 3 \times 3 < 15$$

(избыток составляет  $15 - (1 \times 4.5 + 3 \times 3) = 1.5$ ).

Попробуем теперь ответить на следующий вопрос:

На сколько изменится значение целевой функции (в данном примере увеличится прибыль), если ограничение увеличить на одну единицу?

Или, другими словами, какова ценность для нашей задачи каждого ресурса? Для третьего ресурса (который и так в избытке) ответ очевиден – значение целевой функции не изменится ( $F = 40.5$ ). Посчитаем эти изменения целевой функции для ограничений (I) и (II), для чего решим две системы (используя также метод Крамера).

Увеличим сначала на одну единицу количество первого ресурса:

$$\begin{cases} 2x_1 + 1x_2 = 12+1, & \text{(I)} \\ 2x_1 + 3x_2 = 18. & \text{(II)} \end{cases}$$

$\Delta$  не изменилось ( $\Delta = 2 \times 3 - 1 \times 2 = 4$ ), тогда как

$$\Delta 1 = (12 + 1) \times 3 - 1 \times 18 = 18 + 3 = 21,$$

$$\Delta 2 = 2 \times 18 - (12 + 1) \times 2 = 12 - 2 = 10,$$

откуда координаты новой точки будут  $x_1 = 21/4 = 5.25$ ,  $x_2 = 10/4 = 2.5$ .

Вычислим значение целевой функции в этой новой точке:

$$F_1 = 5 \times 5.25 + 6 \times 2.5 = 41.25,$$

откуда  $y_1 = F_1 - F = 41.25 - 40.5 = 0.75$ .



Построим двойственную задачу для примера 2.2.1:

$$Z = 12 y_1 + 18 y_2 + 15 y_3 \rightarrow \min. \quad (2.2.9)$$

$$\begin{cases} 2 y_1 + 2 y_2 + y_3 \geq 5, \\ y_1 + 3 y_2 + 3 y_3 \geq 6, \\ y_1 \geq 0, y_2 \geq 0, y_3 \geq 0. \end{cases} \quad (2.2.10)$$

Из алгебраических соображений легко показать, что  $F \leq Z$ , откуда  $\max F = \min Z$ , если они существуют (основная теорема двойственности).

В нашем примере 2.2.1  $\max F = \min Z = 40.5$ , и объективно обусловленные оценки  $y_1 = 0.75$ ,  $y_2 = 1.75$ ,  $y_3 = 0$ , вычисленные простым счетом в 2.2.5, являются решением двойственной задачи (2.2.9)-(2.2.10).

Действительно,  $12 \times 0.75 + 18 \times 1.75 + 15 \times 0 = 40.5$ .

Из выражения (2.2.9) видно, что если увеличить в условии задачи какое-либо ресурсное ограничение  $b_i$  на единицу, то  $Z$  (и следовательно  $F$ ) также увеличится ровно на  $y_i$ .

Однако прямая и двойственная ей задача линейного программирования имеют и экономическое истолкование. Так, в задачах на распределение ограниченных ресурсов в производстве оптимальный план можно получить, либо минимизируя издержки для заданной программы, либо максимизируя выпуск при заданной общей сумме издержек. Двойственными аспектами одной и той же задачи являются распределение ресурсов и оценка их. Если для ресурсов не существует рыночных цен, то необходимо их создать, ввести систему условных или расчетных цен.

Рассмотрим теперь пример 2.2.2 и построим для него двойственную задачу. Напомним, что в этом примере из сена и концентратов необходимо составить суточный рацион питания, калорийность которого 20 кормовых единиц, содержание белка 2000 гр., а кальция 100 грамм. Цена сена 1.5, а концентратов 2.5 усл. единиц за 1 кг. Пусть  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$  - наша оценка (за единицу) полезности каждого из этих показателей. Тогда общая (условная) оценка рациона питания:

$$Z = 20 y_1 + 2000 y_2 + 100 y_3.$$

Мы будем стремиться максимизировать  $Z$ . Если 1 кг. сена содержит 0.5 кормовых единиц, 50г белка и 10 г кальция, то оценка его питательного содержания, т.е.  $0.5 y_1 + 50 y_2 + 10 y_3$ , не может превышать его рыночной цены (1.5). Аналогично этому для концентратов оценка питательных веществ, равная  $y_1 + 200 y_2 + 2 y_3$ , не может превышать 2.5. Следовательно, двойственную задачу можно сформулировать таким образом:

Найти такие оценки питательных веществ, чтобы

$$Z = 20 y_1 + 2000 y_2 + 100 y_3 \rightarrow \max \quad (2.2.11)$$

при условии

$$\begin{cases} 0.5 y_1 + 50 y_2 + 10 y_3 \leq 1.5, \\ y_1 + 200 y_2 + 2 y_3 \leq 2.5, \\ y_1 \geq 0, y_2 \geq 0, y_3 \geq 0. \end{cases} \quad (2.2.12)$$

Мы получили двойственную задачу к примеру 2.2.2, в котором требовалось найти минимальную стоимость входящих в рацион продуктов питания при заданных рыночных ценах на эти продукты и при соблюдении ограничений в отношении потребности в питательных веществах. После введения условных оценок показателей питательности возникает двойственная задача (2.2.11) – (2.2.12), где требуется максимизировать условную оценку рациона питания при соблюдении ограничений, согласно которым расходы в расчете за единицу продукта не могут превышать его заданной рыночной цены. Цель первой, прямой задачи заключается в том, чтобы закупаемые продукты были, возможно, более дешевыми, удовлетворяя вместе с тем требованиям в отношении питательной ценности, а цель сопряженной двойственной задачи – в том, чтобы при заданных рыночных ценах на продукты получить рацион наиболее высокопитательный.

Имея краткую запись общей задачи линейного программирования в виде:

$$F = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i (i=1, 2, \dots, m),$$

$$x_j \geq 0 (j=1, 2, \dots, n).$$

Можно так же кратко записать двойственную к ней задачу:

$$Z = \sum_{i=1}^m b_i y_i \rightarrow \min$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} y_i \geq c_j (j=1, 2, \dots, n),$$

$$y_i \geq 0 (i=1, 2, \dots, m).$$

**Пример 2.2.3.** Дана исходная задача:

	$F = 2 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2 \rightarrow \max$
при ограничениях	$x_1 + 3 \cdot x_2 \leq 18,$
	$2 \cdot x_1 + x_2 \leq 16,$
	$x_2 \leq 5,$
	$3 \cdot x_1 \leq 21,$
	$x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0.$

Требуется составить задачу, двойственную к исходной задаче.

*Решение.*

Сформулируем двойственную задачу:

$$\begin{aligned}
 & Z = 18 \cdot y_1 + 16 \cdot y_2 + 5 \cdot y_3 + 21 \cdot y_4 \rightarrow \min \\
 \text{при ограничениях} \quad & y_1 + 2 \cdot y_2 + 3 \cdot y_4 \geq 2, \\
 & 3 \cdot y_1 + y_2 + y_3 \geq 3, \\
 & y_i \geq 0, \quad i = \overline{1, 4}.
 \end{aligned}$$

### 2.2.7. Применение основной задачи линейного программирования к решению некоторых экономических задач

Линейное программирование возникло из практических потребностей, поэтому оно находит применение при решении широкого класса различных практических, в частности, экономических задач. Рассмотрим постановку и решение некоторых из них.

#### 1. Задача использования ресурсов

Предприятие имеет  $m$  видов ресурсов, количество которых соответственно равно  $b_i$ , ( $i = 1, \dots, m$ ) единиц, из которых производится  $n$  видов продукции. Предприятие может обеспечить выпуск продукции  $j$ -го вида в количестве не более  $d_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ) единиц. Для производства единицы  $j$ -й продукции необходимо  $a_{ij}$  единиц  $i$ -го ресурса. При реализации единицы  $j$ -й продукции прибыль составляет  $c_j$  единиц.

*Необходимо составить план выпуска продукции, который обеспечивал бы получение максимальной прибыли при реализации всей выпущенной продукции.*

Если обозначить через  $x_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) количество единиц  $j$ -й продукции, которое необходимо выпустить, то поставленная задача имеет следующую математическую модель.

Найти максимальное значение линейной функции  $F = \sum_{j=1, n} (c_j \cdot x_j)$

$$\text{при ограничениях} \quad \sum_{j=1, n} (a_{ij} \cdot x_j) \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (2.2.13)$$

$$0 \leq x_j \leq d_j, \quad j = 1, \dots, n$$

**Пример 2.2.4.** Компания Bloomington Brewery производит пиво и эль. Пиво дает прибыль \$5 за декалитр, а эль – \$2. Для производства одного декалитра пива необходимо 4 кг. зерна и 2 кг. хмеля, а для производства эля – 3 кг. зерна и 1 кг хмеля. В распоряжении компании имеется 600 кг. зерна и 250 кг. хмеля. Необходимо определить каким образом компания может максимизировать свою прибыль, причем пива надо произвести не менее 10 декалитров, а эля не более 50.

Обозначим  $x_1$  и  $x_2$  – объемы производства пива и эля соответственно. Имеем соотношения по ресурсам (потреблению зерна и хмеля)

$$\begin{aligned}
 4x_1 + 3 \cdot x_2 &\leq 600, \\
 2 \cdot x_1 + x_2 &\leq 250,
 \end{aligned}$$

соотношения по объемам производства

$$\begin{aligned} 10 &\leq x_1, \\ 0 &\leq x_2 \leq 50, \end{aligned}$$

и целевую функцию

$$F = 5 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 \rightarrow \max.$$

## 2. Задача оптимального использования удобрений

Пусть для выращивания некоторой культуры применяется  $m$  видов удобрений, соответственно, в количестве  $b_i$ , ( $i = 1, \dots, m$ ) единиц. Вся посевная площадь разбита из  $n$  почвенно-климатических зон, каждая по  $d_j$ , ( $j = 1, \dots, n$ ) единиц. Пусть  $a_{ij}$  – количество  $i$ -го удобрения, вносимого на единицу площади  $j$ -й зоны, а  $c_j$  – повышение средней урожайности, получаемой с единицы площади  $j$ -й зоны. Составить такой план распределения удобрений между посевными зонами, который обеспечивал бы максимальный суммарный прирост урожайности культуры.

Обозначим через  $x_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ) площадь  $j$ -й зоны, которую необходимо удобрить; тогда математическая модель поставленной задачи имеет вид (2.2.13).

## 3. Задача составления диеты

Дневная диета должна содержать  $m$  видов различных питательных веществ, соответственно, в количестве не менее  $b_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ) единиц. Имеется  $n$  различных продуктов в количестве  $d_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) единиц.

Пусть  $a_{ij}$  – количество единиц  $i$ -го питательного вещества, содержащегося в единице  $j$ -го продукта;  $c_j$  – стоимость единицы  $j$ -го продукта.

*Определить, какие продукты и в каком количестве необходимо включить в диету, чтобы она удовлетворяла минимальной дневной потребности в каждом питательном веществе при наименьшей общей стоимости используемых продуктов.*

Обозначим через  $x_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ) количество единиц  $j$ -го продукта в диете; тогда задача имеет следующую математическую модель.

Найти минимальное значение линейной функции  $F = \sum_{j=1,n} (c_j \cdot x_j)$

при ограничениях  $\sum_{j=1,n} (a_{ij} \cdot x_j) \geq b_i, \quad i = 1, \dots, m$  (2.2.14)

$$0 \leq x_j \leq d_j, \quad j = 1, \dots, n$$

К этому виду задач относятся также задачи составления дневного рациона, задачи на составление смесей, а также некоторые задачи планирования производства.

**Пример 2.2.5.** При откорме каждое животное ежедневно должно получать не менее 8 единиц питательного вещества А, не менее 6 единиц вещества В, не менее 7 единиц вещества С (жиров, белков, углеводов или каких-либо витаминов). Содержание количества единиц питательных веществ в 1 кг корма, приведены в таблице 2.2.3. Известно, что для составления рациона используются 2 вида корма. Необходимо составить дневной

рацион нужной питательности, причем затраты на него должны быть минимальными.

Таблица 2.2.3

Питательные вещества	Количество единиц питательных веществ в 1 кг корма	
	Корм 1	Корм 2
А	2,3	1,1
В	1,5	1,2
С	1,4	1,6
Наличие на складе (кг.)	5	4
Стоимость 1 кг (в руб.)	14	16

Обозначим  $x_1$  и  $x_2$  – объемы используемого комбикорма 1 и 2 типа соответственно. Имеем соотношения по обеспечению питательными веществами

$$\begin{aligned} 2,3x_1 + 1,1 \cdot x_2 &\geq 8, \\ 1,5 \cdot x_1 + 1,2x_2 &\geq 6, \\ 1,4 \cdot x_1 + 1,6x_2 &\geq 7, \end{aligned}$$

соотношения по объемам использования

$$\begin{aligned} 0 \leq x_1 &\leq 5, \\ 0 \leq x_2 &\leq 4, \end{aligned}$$

и целевую функцию

$$F = 14 \cdot x_1 + 16 \cdot x_2 \rightarrow \min.$$

#### 4. Задача об использовании мощностей (задача о загрузке оборудования)

Предприятию задан план производства  $m$  видов продукции по времени и номенклатуре: требуется за время  $T$  выпустить  $b_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) единиц продукции каждого типа. Продукция производится на станках  $n$  типов. Для каждого станка известны производительность  $a_{ij}$  (то есть, количество продукции  $j$ -го вида, которое можно произвести на станке  $i$ -го типа) и затраты  $c_{ij}$  на изготовление продукции  $j$ -го вида на станке  $i$ -го типа в единицу времени.

*Необходимо составить такой план работы станков (т.е. так распределить выпуск продукции между станками), чтобы затраты на производство всей продукции были минимальными.*

Обозначим  $x_{ij}$  – время, в течение которого станок  $i$ -го типа будет занят изготовлением продукции  $j$ -го вида ( $i = 1, \dots, m$ ;  $j = 1, \dots, n$ ).

Затраты на производство всей продукции выразятся функцией  $F = \sum_{j=1, n} \sum_{i=1, m} c_{ij} \cdot x_{ij}$ , которую нужно минимизировать.

Для выполнения плана выпуска по номенклатуре необходимо, чтобы выполнялись следующие равенства: 
$$\sum_{j=1,n} a_{ij} \circ x_{ij} = b_i (i=1, \dots, n).$$

Кроме того,  $x_{ij} \geq 0$  ( $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$ ).

Так как время работы каждого станка ограничено и не превышает  $T$ , то система ограничений может быть дополнена неравенствами:

$$\sum_{j=1,n} x_{ij} \leq T \quad (i = 1, \dots, n).$$

Модель данной задачи строится с помощью, так называемой *двухиндексной* задачи линейного программирования, наиболее ярким представителем которой является транспортная задача, рассматриваемая в теме 2.3.

### 5. Задача о раскрое материалов

На раскрой (распил, обработку) поступает материал одного образца в количестве  $P$  единиц. Требуется изготовить из него  $m$  разных комплектующих изделий в количествах, пропорциональных числам  $b_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ) – условие комплектности.

Каждая единица материала может быть раскроена  $n$  различными способами, причем использование  $j$ -го способа ( $j = 1, \dots, n$ ) дает  $a_{ij}$  единиц  $i$ -го изделия ( $i = 1, \dots, m$ ).

*Необходимо найти план раскроя, обеспечивающее максимальное количество комплектов.*

Обозначим  $x_j$  – число единиц материала, раскраиваемых  $j$ -ым способом,  $X$  – число изготавливаемых комплектов изделий.

Так как общее количество материала равно сумме его единиц, раскраиваемых различными способами, то 
$$\sum_{j=1,n} x_j = P.$$

Требование комплектности выразится уравнениями

$$\sum_{j=1,n} x_j \circ a_{ij} = b_i \circ X \quad (i = 1, \dots, m)$$

Кроме того  $x_j \geq 0$  ( $j = 1, \dots, n$ ).

**Пример 2.2.6.** Листы фанеры могут быть раскроены несколькими способами для изготовления нужных деталей мебельного производства. Пусть при 1-м варианте раскроя из одного листа фанеры изготавливается 16 деталей типа А, 18 деталей типа В, 10 деталей типа С. При 2-м варианте раскроя изготавливается 14 деталей типа А, 15 деталей типа В, 18 деталей типа С. При 3-м варианте раскроя изготавливается 19 деталей типа А, 12 деталей типа В, 9 деталей типа С. Зная, что на одно изделие (комплект) деталей типа А следует изготавливать 5 штук, деталей типа В следует изготавливать 10 штук, деталей типа С следует изготавливать 18 штук, требуется раскроить 100 листов фанеры так, чтобы было получено максимальное количество комплектов.

Обозначим  $x_1, x_2$  и  $x_3$  – количество листов фанеры, раскраиваемых 1, 2 и 3 способами соответственно.  $X$  – количество комплектов. Имеем соотношения по обеспечению комплектности

$$16x_1 + 14 \cdot x_2 + 19 \cdot x_3 \geq 5X,$$

$$18x_1 + 15 \cdot x_2 + 12 \cdot x_3 \geq 10X,$$

$$10x_1 + 18 \cdot x_2 + 9 \cdot x_3 \geq 18X,$$

соотношение по количеству листов

$$x_1 + x_2 + x_3 = 100,$$

и целевую функцию

$$F = X \rightarrow \max.$$

В этой модели 4 переменные:  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  и  $X$  – количество комплектов.

### Вопросы для самопроверки

1. Что принимается в качестве целевой функции в задаче составления плана производства?
2. Каков экономический смысл точного равенства в ограничении задачи составления плана производства.
3. В двойственной задаче для задачи составления плана производства привести экономический смысл целевой функции.
4. В двойственной задаче для задачи составления плана производства привести экономический смысл ограничений.
5. В двойственной задаче для задачи составления плана производства привести экономический смысл переменных.
6. Привести экономический смысл связи целевых функций прямой и двойственной задач в линейной модели производства.
7. Указать отличие линейных экономических моделей от нелинейных.
8. Привести примеры задач линейного программирования.
9. Как поставить задачу линейного программирования?
10. Каковы особенности графического метода решения задачи линейного программирования: построение области допустимых значений, нахождение оптимальной точки или прямой.
11. Указать особенности двойственной задачи линейного программирования.

## ТЕМА 2.3. ЗАДАЧИ ТРАНСПОРТНОГО ТИПА

### 2.3.1. Экономико-математическая модель транспортной задачи

Важным частным случаем задачи линейного программирования является так называемая транспортная задача.

Классическая транспортная задача – задача о наиболее экономном плане перевозок однородного продукта (или взаимозаменяемых продуктов) из пунктов производства в пункты потребления.

Экономико-математическая модель транспортной задачи в общем виде может быть сформулирована следующим образом:

Имеется  $m$  пунктов производства однородного продукта и  $n$  пунктов потребления. Для каждого пункта производства  $i$  задан объем производ-

ства  $A_i$ , для каждого пункта потребления  $j$  известна потребность (спрос)  $B_j$  (в тех же единицах измерения). Известны издержки  $c_{ij}$ , связанные с перевозкой единицы продукта из пункта  $i$  в пункт  $j$ .

Требуется составить план перевозок, обеспечивающий наиболее экономным путем (т.е. при наименьших транспортных издержках) удовлетворение всех пунктов потребления за счет реализации всего продукта, произведенного пунктами производства. При этом предполагается, что суммарный спрос ( $B = \sum_j B_j$ ) равен суммарному объему производства ( $A = \sum_i A_i$ ). Такие задачи называются **закрытыми** транспортными задачами.

Что такое **план перевозок**? План перевозок определяет:

Сколько единиц продукта перевозится от каждого пункта производства к каждому пункту потребления, т.е. план представляется набором чисел  $x_{ij}$  (всего таких чисел  $m \times n$ ), где  $x_{ij}$  показывает, сколько единиц продукта должно быть перевезено от  $i$ -го производителя  $j$ -му потребителю. Отметим также, что в термин «транспортные издержки» ( $c_{ij}$ ) не всегда вкладывается строгий экономический смысл. Это могут быть расстояния, тарифы, время, расход топлива и т.п. В каждой конкретной задаче оговаривается конкретный смысл коэффициентов  $c_{ij}$ .

Система ограничений примет вид

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = A_i \quad (i=1,2,\dots,m), \quad (2.3.1)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = B_j \quad (j=1,2,\dots,n). \quad (2.3.2)$$

Система (2.3.1) включает в себя уравнения баланса по поставщикам, а система (2.3.2) – по потребителям. Суммарные транспортные издержки выражаются в виде следующей линейной функции, которую необходимо минимизировать

$$F = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (2.3.3)$$

Математическая модель транспортной задачи в общей постановке будет следующей: на множестве неотрицательных решений системы ограничений (2.3.1), (2.3.2) (мы будем называть такие решения *допустимые*) найти такое решение  $X=(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{mn})$ , при котором значение целевой функции (2.3.3) минимально. Условия транспортной задачи весьма удобно представлять в табличной форме.

Таблица 2.3.1

Пункт производ- ства $i$	Объем произ- водства $A_i$	Пункты потребления $j$ и их спрос $B_j$			
		1	2	...	$n$
		$B_1$	$B_2$	...	$B_n$
1	$A_1$	$c_{11}$ $x_{11}$	$c_{12}$ $x_{12}$	...	$c_{1n}$ $x_{1n}$
2	$A_2$	$c_{21}$ $x_{21}$	$c_{22}$ $x_{22}$	...	$c_{2n}$ $x_{2n}$
...	...	...	...	...	...
$m$	$A_m$	$c_{m1}$ $x_{m1}$	$c_{m2}$ $x_{m2}$	...	$c_{mn}$ $x_{mn}$

В левом верхнем углу произвольной клетки  $(i, j)$  ( $i$  – номер строки,  $j$  – номер столбца) стоит показатель транспортных затрат  $c_{ij}$ , в правом нижнем – значения переменных  $x_{ij}$  (план перевозок).

Любое решение  $X=(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{mn})$  системы ограничений (2.3.1) – (2.3.2) назовем **распределением поставок**.

Простой модификацией данной модели является **модель процесса назначения**. Речь идёт о назначении  $m$  различных специалистов на  $n$  мест работы при условии, что каждую работу должен выполнять лишь один специалист, и каждый специалист должен выполнять лишь одну работу. Приоритетная возможность  $i$ -го специалиста на получение  $j$ -й работы оценивается коэффициентами  $c_{ij}$  матрицы  $C$ . При моделировании таких процессов  $x_{ij}$  вводится как булевская переменная:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й работник будет назначен на выполнение } j\text{-й работы;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Правые части всех ограничений в этом случае равны 1.

$$A_i = 1 \quad (i=1, 2, \dots, m), \quad B_j = 1 \quad (j=1, 2, \dots, n).$$

Показательно, что, в отличие от решения транспортной задачи, попытка применения на производстве оптимального решения задачи о назначении привела к неожиданным социальным последствиям. Так бригады, где регулярно применялась подобная практика, месяца через три обычно разваливались, рабочие начинали оттуда бежать. Дело в том, что перечень работ изо дня в день практически оставался неизменным, следовательно, и оптимальное решение также не менялось. Таким образом, происходило закрепление определенных видов работ за конкретными рабочими, что приводило к существенной дифференциации в заработках и затрудняло желающим повысить свою квалификацию. Поэтому более "опытные" бригадиры, отслеживая потребности членов бригады, самостоятельно подбирали некоторым рабочим соответствующие работы, а для остальных рабочих и оставшихся работ решалась уже задача о назначении. Получавшееся реше-

ние естественно не было оптимальным, но зато в бригаде царил мир и порядок. Оптимальное же решение использовалось исключительно во время авралов и коммунистических субботников, т.е. в тех случаях, когда требовалось показать наивысшую производительность труда.

Можно указать достаточно много практических задач, решение которых может быть сведено к решению задачи о назначениях (распределение самолетов по авиалиниям, распределение министерских портфелей и т.п.).

Многими математиками, начиная с Халмоша, предлагалось использовать задачу о назначениях для составления супружеских пар (Marriage Problem), трактуя коэффициенты  $c_{ij}$  как «меру счастья» будущего союза. Правда, постановка задачи выглядела несколько искусственной, так как каждый раз приходилось фантазировать, чтобы оправдать необходимость массовых бракосочетаний. Однако реальная жизнь оказалась богаче подобных фантазий и основатель «Церкви унификации» кореец Сон Мьюонг Мун (он же Мун Сон Мен или просто Мун) уже около пятидесяти лет каждый год решает подобную задачу для тысяч своих последователей.

Рассмотрим простейший числовой пример транспортной задачи (табл. 2.3.2).

Здесь параметры задачи принимают следующие значения:

$$c_{11}=2, c_{12}=1, c_{13}=5, c_{21}=3, c_{22}=4, c_{23}=3, c_{31}=4, c_{32}=6, c_{33}=6;$$

$$A_1=50, A_2=60, A_3=70, B_1=40, B_2=85, B_3=55.$$

Таблица 2.3.2

	40	85	55
50	2 $x_{11}$	1 $x_{12}$	5 $x_{13}$
60	3 $x_{21}$	4 $x_{22}$	3 $x_{23}$
70	4 $x_{31}$	6 $x_{32}$	6 $x_{33}$

Составим систему уравнений для этого примера.

Чтобы объем производства каждого поставщика был реализован, необходимо выполнение баланса по каждой строке таблицы, т.е.

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{12} + x_{13} &= 50 \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} &= 60 \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} &= 70 \end{aligned} \tag{2.3.4}$$

Аналогично, чтобы спрос каждого из потребителей был удовлетворен, подобные уравнения баланса выписываем для каждого столбца таблицы:

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{21} + x_{31} &= 40 \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} &= 85 \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} &= 55 \end{aligned} \tag{2.3.5}$$

Суммарные транспортные затраты  $F$  (целевая функция) выражаются через издержки и поставки следующим образом:

$$F = 2x_{11} + x_{12} + 5x_{13} + 3x_{21} + 4x_{22} + 3x_{23} + 4x_{31} + 6x_{32} + 6x_{33}.$$

В этом примере шесть уравнений и девять переменных, система (2.3.4)–(2.3.5) имеет бесчисленное множество решений (допустимых поставок). Вот одно из них:

Таблица 2.3.3

	40	85	55
50	2 <b>40</b>	1 <b>10</b>	5 <b>0</b>
60	3 <b>0</b>	4 <b>60</b>	3 <b>0</b>
70	4 <b>0</b>	6 <b>15</b>	6 <b>55</b>

Суммарные транспортные затраты для данного распределения:

$$F = 2 \times 40 + 1 \times 10 + 5 \times 0 + 3 \times 0 + 4 \times 60 + 3 \times 0 + 4 \times 0 + 6 \times 15 + 6 \times 55 = 750.$$

Всего в этом примере около 3600 только целочисленных решений, а если допустить дробность – то бесконечное множество. Все допустимые решения удовлетворяют системе ограничений, но отличаются друг от друга величиной суммарных транспортных издержек.

Вот еще одна допустимая поставка:

Таблица 2.3.4

	40	85	55
50	2	1 <b>50</b>	5
60	3 <b>40</b>	4	3 <b>20</b>
70	4	6 <b>35</b>	6 <b>35</b>

Суммарные транспортные затраты для данного распределения:

$$F = 1 \times 50 + 3 \times 40 + 3 \times 20 + 6 \times 35 + 6 \times 35 = 650.$$

Наша задача научиться находить оптимальное решение, т.е. такое, для которого целевая функция имеет наименьшее значение.

### 2.3.2. Исходный опорный план

Первым шагом при решении транспортной задачи является получение допустимого решения, которое называют **исходный опорный план**. Исходный план можно легко получить, используя простой алгоритм, разрабо-

таный Данцигом и названный Чарнсом и Купером «правилом северо-западного угла», хотя исходный план, полученный этим способом, как правило, весьма далек от оптимального.

«Правило северо-западного угла» формулируется следующим образом:

1. Начать с северо-западного угла исходной таблицы – клетки (1,1), куда дать максимально возможную поставку:

$$x_{11} = \min\{A_1, B_1\}.$$

2. Следующую максимально возможную поставку дать либо в клетку (1,2), либо в клетку (2,1), в зависимости от результата первого шага.

3. Продолжить этот процесс шаг за шагом от северо-западного до юго-восточного угла таблицы.

Таким образом, в нашем примере (см. табл. 2.3.3) процесс определения исходного плана происходит следующим образом:

В клетку (1,1) даем максимально возможную поставку:

$$x_{11} = \min\{50, 40\} = 40.$$

После этого спрос 1-го потребителя будет полностью удовлетворен, в результате чего первый столбец таблицы выпадает из последующего рассмотрения. Переходим к клетке (1,2) и даем в нее максимально возможное значение. Учитывая, что 1-й поставщик уже отдал 40 единиц своей продукции и у него осталось только  $50 - 40 = 10$  единиц, получим  $x_{12} = \min\{10, 85\} = 10$ . После этого объемы 1-го производителя полностью реализованы и из рассмотрения выпадает первая строка таблицы. В оставшейся таблице снова находим «северо-западный угол» и т.д. В результате получаем исходное распределение поставок (см. табл. 2.3.3).

Число заполненных клеток в полученном распределении оказалось равным  $m+n-1=3+3-1=5$ . Это не случайно. Действительно, на каждом шаге (кроме последнего) из рассмотрения выпадали либо строка, либо столбец, а на последнем шаге и столбец и строка.

Поэтому число заполненных клеток на единицу меньше, чем сумма числа строк и столбцов, т.е. равно  $m+n-1$ . Справедлива теорема (которую мы примем без доказательств) утверждающая, что в оптимальном решении число заполненных клеток (т.е. основных, так называемых **базисных переменных**) должно быть равно  $m+n-1$ .

Существенный недостаток метода «северо-западного угла» состоит в том, что он построен без учета значений транспортных издержек. Можно модифицировать данный метод, избавившись от этого недостатка: на каждом шаге максимально возможную поставку следует давать не в «северо-западную» клетку оставшейся таблицы, а в клетку с наименьшим значением транспортных издержек. При этом распределение поставок оказывается, вообще говоря, ближе к оптимуму, чем распределение, полученное методом «северо-западного угла». Такой метод получения исходного плана

называется **методом наименьших затрат**. Исходный план, полученный данным методом, приведен в табл. 2.3.4.

### 2.3.3. Распределительный метод решения транспортной задачи

Рассмотрим сейчас так называемый **распределительный метод** решения транспортной задачи. Этот метод довольно сложен и неудобен для решения практических задач, однако мы его подробно рассмотрим, т.к. этот метод позволяет понять основные идеи, лежащие в основе решения задач линейного программирования и, в частности, транспортных задач.

Вернемся к нашему примеру и возьмем базисный план, построенный методом северо-западного угла (табл. 2.3.3). Соответствующие данному плану суммарные транспортные затраты (значение целевой функции)  $F=750$ . Чтобы определить, является ли полученный план оптимальным, необходимо «оценить» различные варианты, связанные с неиспользованием клеток, в которых нет поставок (выделенных чисел). Таких клеток в нашем примере четыре. Посмотрим, что произойдет с таблицей, если дать единичную поставку в одну из пустых клеток, например в (2,1).

Чтобы не нарушался баланс по строкам и столбцам необходимо уменьшить на единицу поставку в клетки (2,2) и (1,1). Уменьшив поставку в (1,1) мы должны увеличить на единицу поставку в клетку (1,2). Заметим, что последнее изменение восстановило баланс по столбцу 2, нарушенный уменьшением поставки в клетку (2,2). Мы получили новый допустимый план поставок (см. табл. 2.3.5).

Таблица 2.3.5

	40	85	55
50	2 <b>39</b>	1 <b>11</b>	5
60	3 <b>1</b>	4 <b>59</b>	3
70	4	6 <b>15</b>	6 <b>55</b>

Заметим, что число ненулевых поставок (выделенных чисел) здесь превышает  $m+n-1$ , т.е. этот допустимый план *не является базисным*.

Перераспределяя поставки мы прошли по четырем клеткам. Путь нашего движения образовал так называемый **цикл (цепь, контур)**. Представим этот цикл на рис. 2.3.1. На нем изображены клетки, в которых будем менять поставки (слева от каждой клетки написан в скобках ее номер).

При этом знаком «+» помечены те клетки, поставка в которых увеличится (*положительные вершины*). Знаком «-» отмечены клетки, в которых поставка уменьшится (*отрицательные вершины*).

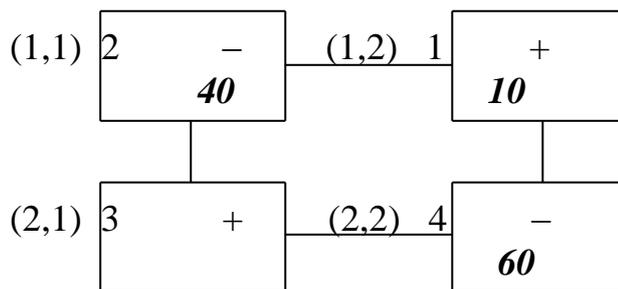


Рис. 2.3.1

Для циклов в транспортной задаче характерны следующие особенности:

- а) цикл является замкнутым многоугольником;
- б) вершинами цикла являются клетки таблицы, причем одна из вершин – пустая клетка, а все остальные – клетки с поставками базисного плана (с выделенными числами);
- в) все углы цикла прямые и каждый отрезок цикла, ограниченный двумя вершинами, целиком принадлежит к одному столбцу или к одной строке таблицы;
- г) в цикле четное число вершин;
- д) отрезки цикла могут проходить заполненные поставками клетки, не являющиеся вершинами данного цикла;
- е) в цикле одинаковое количество положительных и отрицательных вершин.

Цикл, сохраняя все перечисленные свойства, может иметь самую различную форму, но всегда для любой пустой клетки цикл пересчета существует, причем единственный (доказательство этого утверждения опускаем).

Введем теперь понятие **оценки пустой клетки**. Так же как и в общей задаче линейного программирования поставим вопрос следующим образом: на сколько изменится значение целевой функции, после совершения единичной поставки в рассматриваемую пустую клетку?

Рассмотрим табл. 2.3.5. Записав единичную поставку в клетку (2,1), мы увеличили целевую функцию на 3 ( $c_{21}=3$ ). Уменьшив поставку в клетку (1,1) на единицу, мы уменьшили значение целевой функции на 2 ( $c_{11}=2$ ). Увеличив поставку в клетку (1,2), мы увеличили целевую функцию на 1 ( $c_{12}=1$ ). И, наконец, уменьшив поставку в клетку (2,2) на единицу, мы уменьшили значение целевой функции на 4 ( $c_{22}=4$ ). В итоге целевая функция изменилась на  $3-2+1-4= -2$  (т.е. уменьшилась на 2). Эту величину и будем называть оценкой пустой клетки  $(i,j)$  и обозначать  $e_{ij}$ . Отметим, что оценка может быть как отрицательная, так и положительная.

Только что мы вычислили  $e_{21} = -2$ . Значит каждая единичная поставка в клетку (2,1) будет уменьшать значение целевой функции на 2. Чем больше будет величина поставки в клетку (2,1), тем лучше будет план поставок. Очевидно, наибольшее значение поставки в клетке (2,1) будет равно величине меньшей из поставок в отрицательных вершинах цикла. В противном случае в одной из этих вершин появится отрицательная поставка, что противоречит условиям задачи.

Наибольшее значение  $x_{21}$  в данном случае равно 40 (перепоставка из отрицательной вершины (1,1)). Принимая  $x_{21} = 40$ , для сохранения баланса по строкам и столбцам корректируем на эту величину поставки в остальных вершинах цикла:

$$x_{11} = 0, x_{12} = 50, x_{22} = 20.$$

Получим новый *базисный* план.

Транспортные издержки этого плана (см. табл. 2.3.6) изменились на  $e_{21}x_{21} = -2 \times 40 = -80$ , т.е. уменьшились на 80.

Суммарные транспортные затраты для данного распределения можно посчитать и по общей формуле:

$$F = 1 \times 50 + 3 \times 40 + 4 \times 20 + 6 \times 15 + 6 \times 55 = 670.$$

Мы видим, что и по общей формуле расчета суммарные транспортные затраты уменьшились на  $750 - 670 = 80$  единиц.

Таблица 2.3.6

	40	85	55
50	2	1	5
60	3	4	3
70	4	6	6
		<b>50</b>	
	<b>40</b>	<b>20</b>	
		<b>15</b>	<b>55</b>

Итак, базисный план находить мы умеем (метод северо-западного угла или метод наименьших затрат). Научились определять оценки пустых клеток с помощью циклов и перераспределять по цепи поставки. Этого достаточно, чтобы решить транспортную задачу. Общий ход решения таков:

1. Находим исходный базисный план.
2. Для пустых клеток определяем оценки  $e_{ij}$ , пока не найдем клетку с отрицательной оценкой.
3. В эту клетку записываем максимально возможную поставку, производя необходимую корректировку поставок в вершинах соответствующего цикла. В результате получаем новый базисный план, лучший, чем предыдущий.
4. Для нового базисного плана выполняем опять процедуру 2.

Если все оценки  $e_{ij} \geq 0$ , то план поставок улучшить невозможно (суммарные транспортные издержки не уменьшаются), значит, полученный на последнем шаге план поставок **оптимальный**.

Если существует хотя бы одна клетка с отрицательной оценкой – переходим к процедуре 3. Будем придерживаться этого общего алгоритма решения для улучшения нашего нового базисного плана.

Определим оценку клетки (1,3) с помощью цикла (рис. 2.3.2).

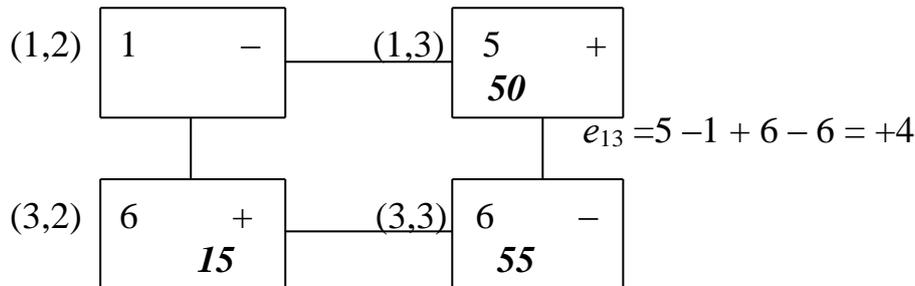


Рис. 2.3.2

Значит, давать поставку в клетку (1,3) невыгодно – приращение целевой функции положительное, т.е. это приведет к удорожанию плана перевозок. Определим оценку следующей пустой клетки (2,3) с помощью цикла (рис. 2.3.3).

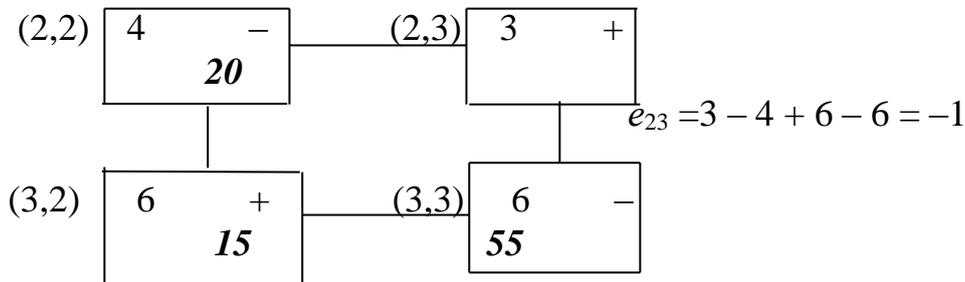


Рис. 2.3.3

Следовательно, рассматриваемый план не оптимален и может быть улучшен, если дать поставку (максимально возможную) в клетку (2,3). Очевидно, максимально возможная величина поставки  $x_{23} = 20$ , что изменит значение целевой функции на  $-1 \times 20 = -20$ . Скорректировав соответственно поставки  $x_{22} = 0, x_{32} = 35, x_{33} = 35$ , получаем новый базисный план (табл. 2.3.7).

Таблица 2.3.7

	40	85	55
50	2	1	5
60	3	4	
70	4	6	6
		<b>50</b>	
		<b>40</b>	<b>20</b>
		<b>35</b>	<b>35</b>

Суммарные транспортные затраты для данного распределения:

$$F = 1 \times 50 + 3 \times 40 + 3 \times 20 + 6 \times 35 + 6 \times 35 = 650.$$

Проверим этот план на оптимальность. Для этого нужно узнать, нет ли отрицательных оценок пустых клеток.

Рассмотрим клетку (3,1). Цикл для нее изображен на рис. 2.3.4. Следовательно, рассматриваемый план не оптимален и может быть улучшен, если дать максимально возможную поставку в эту клетку  $x_{31} = 35$ . Целевая функция должна уменьшиться на  $2 \times 35 = 70$ .

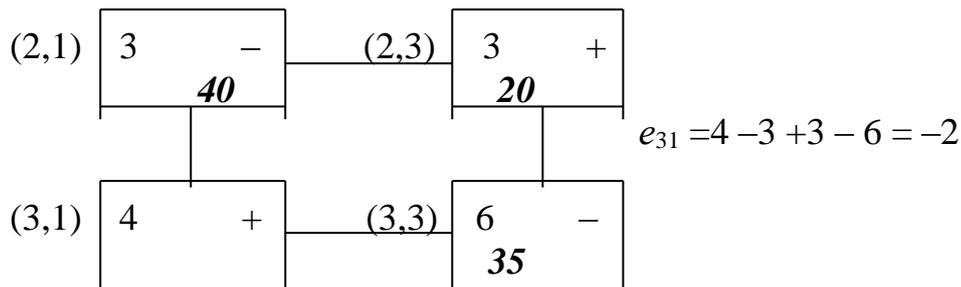


Рис. 2.3.4

Скорректировав соответственно в вершинах цикла поставки  $x_{21}=5$ ,  $x_{23}=55$ ,  $x_{33} = 0$ , получаем новый базисный план (табл. 2.3.8).

Таблица 2.3.8

	40	85	55
50	2	1	5
60	3	4	3
70	4	6	6
		<b>50</b>	
		<b>5</b>	<b>55</b>
		<b>35</b>	<b>35</b>

Суммарные транспортные затраты для данного распределения:

$$F = 1 \times 50 + 3 \times 5 + 3 \times 55 + 4 \times 35 + 6 \times 35 = 580,$$

т.е., как мы и предполагали, уменьшились на  $650 - 580 = 70$ .

Проверим теперь этот план на оптимальность. Для этого опять вычисляем оценки пустых клеток. Рассмотрим клетку (1,1). Цикл для нее изображен на рис. 2.3.5.

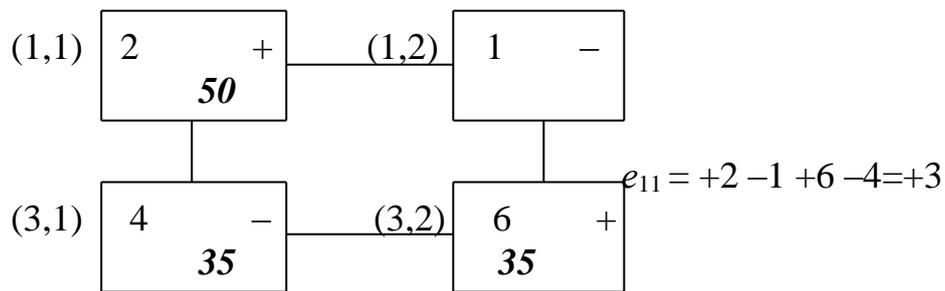


Рис. 2.3.5

Рассмотрим клетку (2,2). Цикл для нее изображен на рис. 2.3.6.

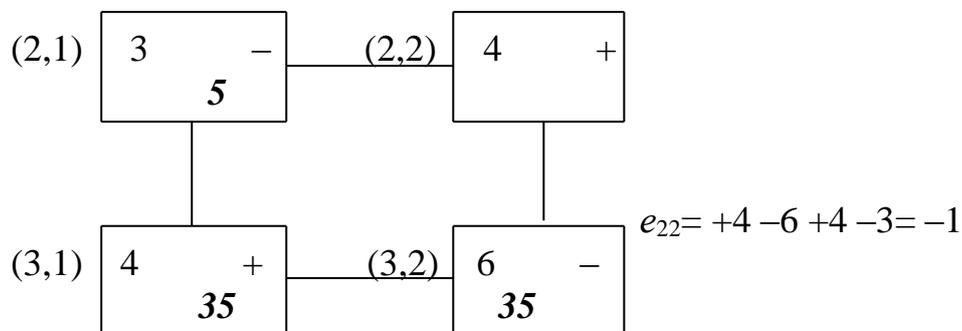


Рис. 2.3.6

Значит, и этот план не оптимальный. Его можно улучшить, если дать максимально возможную поставку в эту клетку:  $x_{22} = 5$ . Целевая функция уменьшается на  $1 \times 5 = 5$ . Скорректировав соответственно в вершинах цикла поставки  $x_{21} = 0, x_{31} = 40, x_{32} = 30$ , получаем новый базисный план (табл. 2.3.9).

Суммарные транспортные затраты составят:

$$F = 1 \times 50 + 4 \times 5 + 3 \times 55 + 4 \times 40 + 6 \times 30 = 575,$$

что как раз на 5 единиц меньше предыдущего значения целевой функции. Этот план оптимальный, оценки всех пустых клеток ( $e_{11}, e_{13}, e_{21}, e_{32}$ ) неотрицательны!

Таблица 2.3.9

	40	85	55
50	2	1	5
60	3	4	3
70	4	6	6

Студентам предоставляется возможность самим убедиться, что этот план оптимальный.

Основным недостатком распределительного метода является необходимость построения циклов с целью определения оценок клеток. Так, при таблице 25 строк на 25 столбцов на каждом шаге для проверки оптимальности плана надо строить  $m \times n - (m+n-1) = 25 \times 25 - (25+25-1) = 576$  циклов. В некоторых случаях циклы имеют множество вершин и довольно сложную конфигурацию.

#### 2.3.4. Метод потенциалов

Рассмотрим модифицированный способ, позволяющий определять оценки клеток без построения циклов. Этот способ имеет свои разновидности. Мы рассмотрим одну из них, предложенную Дж.Данцигом в 1951 году и названную им методом МОДИ.

Следует отметить, что Л.В.Канторовичем еще в 1940 году был разработан метод, отличающийся от метода МОДИ лишь весьма несущественными деталями. Свой метод Л.В.Канторович назвал **методом потенциалов**. Мы так и будем его называть.

Идея метода заключается в том, что для определения оценок пустых клеток предварительно находятся некоторые числа (потенциалы). Потенциалы ставятся в соответствие каждой строке и каждому столбцу. Потенциал  $i$ -й строки обозначим  $u_i$ , а потенциал  $j$ -го столбца  $v_j$ . Потенциалы определяются исходя из требования: для каждой *занятой* клетки  $(i, j)$  алгебраическая сумма потенциалов  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца должна быть равна транспортным издержкам  $c_{ij}$ :

$$c_{ij} = u_i + v_j, \quad u_i = c_{ij} - v_j, \quad v_j = c_{ij} - u_i. \quad (2.3.6)$$

Затем оценки каждой пустой клетки определяются по формуле:

$$e_{ij} = c_{ij} - (u_i + v_j). \quad (2.3.7)$$

Как же определяются потенциалы?

Можно начать с любого столбца или строки и назначить в качестве их потенциала произвольное число. Произвольно назначается только этот первый потенциал, все остальные рассчитываются по формулам (2.3.6).

Проиллюстрируем это на примере, условия которого приведены в табл. 2.3.10 с базисным планом, полученным методом северо-западного угла.

Примем произвольно, например, для 2-й строки потенциал  $u_2=10$ .

Тогда по формулам (2.3.6) можно вычислить потенциалы 2-го и 3-го столбца, а именно:

$$v_2 = c_{22} - u_2 = 5 - 10 = -5,$$

$$v_3 = c_{23} - u_2 = 7 - 10 = -3.$$

Таблица 2.3.10

$\begin{matrix} B_j \\ A_i \end{matrix}$	55	90	40	30	20	$i$
0	5 <b>55</b>	4 <b>25</b>	3	2	1	
5	3	5 <b>65</b>	7 <b>10</b>	5	3	10
5	5	4	3 <b>30</b>	4 <b>15</b>	5	6
5	2	3	4	5 <b>15</b>	6 <b>20</b>	7
$v_j$	-4	-5	-3	-2	-1	

Теперь, используя уже вычисленные потенциалы  $v_2$  и  $v_3$ , находим потенциалы 1-й и 3-й строки:

$$u_1 = c_{12} - v_2 = 4 - (-5) = 9,$$

$$u_3 = c_{33} - v_3 = 3 - (-3) = 6.$$

А теперь, используя уже вычисленные потенциалы  $u_1$  и  $u_3$ , находим потенциалы 1-го и 4-го столбца:

$$v_1 = c_{11} - u_1 = 5 - 9 = -4,$$

$$v_4 = c_{34} - u_3 = 4 - 6 = -2.$$

Нам осталось вычислить потенциалы 4-й строки и 5-го столбца:

$$u_4 = c_{44} - v_4 = 5 - (-2) = 7,$$

$$v_5 = c_{45} - u_4 = 6 - 7 = -1.$$

Зная потенциалы всех столбцов и строк по формуле (2.3.7) вычисляем оценки любой пустой клетки. В данном примере

$$e_{13} = c_{13} - (u_1 + v_3) = 3 - (9 - 3) = -3,$$

$$e_{14} = c_{14} - (u_1 + v_4) = 2 - (9 - 2) = -5,$$

$$e_{15} = c_{15} - (u_1 + v_5) = 1 - (9 - 1) = -7,$$

$$e_{21} = c_{21} - (u_2 + v_1) = 3 - (10 - 4) = -3,$$

$$e_{24} = c_{24} - (u_2 + v_4) = 5 - (10 - 2) = -3,$$

$$e_{25} = c_{25} - (u_2 + v_5) = 3 - (10 - 1) = -6,$$

$$e_{31} = c_{31} - (u_3 + v_1) = 5 - (6 - 4) = 3,$$

$$e_{32} = c_{32} - (u_3 + v_2) = 4 - (6 - 5) = 3,$$

$$e_{35} = c_{35} - (u_3 + v_5) = 5 - (6 - 1) = 0,$$

$$e_{41} = c_{41} - (u_4 + v_1) = 2 - (7-4) = -1,$$

$$e_{42} = c_{42} - (u_4 + v_2) = 3 - (7-5) = 1,$$

$$e_{43} = c_{43} - (u_4 + v_3) = 4 - (7-3) = 0.$$

Найдя отрицательную оценку, перемещаем в соответствующую клетку поставку по циклу, как и в распределительном методе.

Можно найти сначала все отрицательные оценки, а затем выбрать клетку, перемещение поставки в которую даст наибольший эффект, т.е. наибольшую величину уменьшения целевой функции. Заметим, что эта величина зависит как от значения оценки, так и от максимально допустимой поставки, которую можно дать в данную клетку. Студентам предоставляется право самостоятельно довести решение до конца. Оптимальное решение приведено в табл. 2.3.11.

Таблица 2.3.11

$A_i \backslash B_j$	55	90	40	30	20
80	5	4 <b>50</b>	3	2 <b>30</b>	1
75	3 <b>55</b>	5 <b>0</b>	7	5	3 <b>20</b>
45	5	4 <b>5</b>	3 <b>40</b>	4	5
35	2	3 <b>35</b>	4	5	6

### 2.3.5. Вырожденные случаи. Открытая транспортная задача

Некоторые замечания по частным случаям, которые могут встретиться при решении.

1. Если на некотором шаге построения базисного плана из рассмотрения выпадают одновременно и строка и столбец (случай *вырождения*), можно использовать следующий прием: дать нулевую (фиктивную) поставку в произвольную *еще не занятую* клетку данной строки или столбца. (Тем самым сохраняется число занятых клеток  $m+n-1$  для базисного распределения поставок).

2. Если в отрицательных вершинах цикла, по которому перераспределяется поставка, две или более минимальных поставок, то все они при перераспределении обратятся в нуль. Так как на каждом шаге число занятых клеток сохраняется в количестве  $m+n-1$ , то из этих “нулевых” клеток образуется только одна пустая клетка, а остальные считаются заполненными поставкой равной 0.

3. Если мы нашли клетку с отрицательной оценкой и построили соответствующий цикл перераспределения, в одной из отрицательных вершин которого находится нулевая поставка, то следует переместить эту нулевую

поставку (значение целевой функции при этом не изменится), а затем вновь определять оценки пустых клеток в полученном базисном плане.

Рассмотрим некоторые моменты, имеющие практическое значение, но усложняющие постановку транспортной задачи:

#### 1. Обязательные поставки.

Независимо от оптимальных расчетов некоторому поставщику вменяется определенный объем поставки некоторому потребителю (например, определенная марка бетона производится только на таком-то заводе, а некоторому потребителю необходимо определенное количество данной марки). В этом случае на величину обязательных поставок корректируются мощности и потребности, и после этого решается задача.

#### 2. Ограничения пропускной способности.

Ранее мы исходили из того, что от любого поставщика любому потребителю можно перевозить любое количество продукта (в пределах мощности и спроса). В реальных задачах часто приходится учитывать пропускную способность коммуникаций (особенно железных дорог).

Самый простой способ учитывать пропускную способность состоит в следующем.

Пусть поставка в клетку  $(i,j)$  ограничена числом, строго меньшим  $B_j$ . Столбец  $j$ , соответствующий потребителю с ограниченной пропускной способностью, разбивается на два столбца, в одном спрос принимается равным ограничению, а в другом – остатку. Показатели транспортных затрат одинаковы для этих двух столбцов за исключением клетки  $(i,j)$  в столбце, где спрос равен разности (остатку). Здесь  $c_{ij}$  принимается очень большим, блокирующим какую-либо поставку в эту клетку.

До сих пор мы рассматривали закрытую транспортную задачу, т.е. при условии баланса спроса и объемов производства (мощностей). В практических задачах это условие далеко не всегда выполняется. При нарушении баланса возникает **открытая** транспортная задача, которая решается сведением ее к закрытой транспортной задаче.

При превышении суммарной мощности над суммарным спросом на величину  $\Delta$  вводится дополнительный столбец так называемого *фиктивного* потребителя со спросом равным  $\Delta$ . Показатели  $c_{in+1}(i=1,2,\dots,m)$  в этом столбце выбираются произвольно, но с одним условием, что все они равны между собой. Удобнее всего принимать их равными 0. Далее задача решается как закрытая.

Аналогично, при превышении суммарного спроса над суммарной мощностью на величину  $\Delta$  вводится дополнительная строка так называемого *фиктивного* поставщика с мощностью равной  $\Delta$  и с нулевыми транспортными издержками.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Постановка транспортной задачи.
2. Экономическая значимость транспортной задачи.
3. Условия существования решения транспортной задачи.
4. Отличие транспортной задачи от общей задачи линейного программирования.
5. Как найти начальное решение транспортной задачи методом северо-западного угла?
6. Как решается транспортная задача методом минимальной стоимости?
7. Как решается транспортная задача методом потенциалов?
8. Построение замкнутого контура (цикла) при решении транспортной задачи.
9. Открытая и закрытая транспортная задача.
10. Приведение открытой транспортной задачи к закрытому типу.

## **ТЕМА 2.4. ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ**

### **2.4.1. Построение сетевых графиков**

Методы сетевого моделирования применяются при планировании и управлении разработкой крупных народнохозяйственных комплексов, научными исследованиями, конструкторской и технологической подготовкой производства, освоения новых видов изделий, строительством и реконструкцией, капитальным ремонтом основных фондов. Сетевое моделирование основано на применении так называемой сетевой модели комплекса взаимосвязанных работ, направленных на достижение определенной цели.

Первые системы, использующие сетевые модели, были применены в США в конце 50-х годов и получили названия СРМ (английская аббревиатура метода критического пути) и PERT (метод оценки и обзора программы). Система СРМ была впервые применена при управлении строительными работами, метод PERT – при разработке ракетных систем “Поларис”.

Работы по сетевому планированию и управлению (СПУ) в России начались в 60-х годах XX века. Сначала они применялись в строительстве и в научных разработках. Дальнейшее широкое применение сетевые методы получили в других областях народного хозяйства при управлении крупными проектами.

Система сетевого планирования и управления обеспечивает:

- а) формирование календарного плана реализации комплекса работ;
- б) выявление резервов времени, определение потребности в трудовых, материальных и денежных ресурсах;
- в) управление проектом работ с возможностью прогнозирования и предупреждения возможных срывов в ходе их выполнения;

г) повышение эффективности управления проектом при распределении ответственности между руководителями различных уровней и исполнителями работ.

Применение методов сетевого планирования и управления имеет весьма широкий диапазон: от локальных задач, выполняемых отдельными лицами, до проектов, где участвуют сотни организаций и тысячи исполнителей.

Для составления плана работ по осуществлению крупных и сложных проектов его необходимо описать с помощью математической модели. Сетевая модель и является таким средством описания проектов.

Сетевая модель содержит информацию о параметрах работ и их логической взаимосвязи. Основу логической взаимосвязи работ составляют:

- а) технологическая зависимость работ,
- в) ресурсные зависимости.

Графическое изображение сетевой модели будем называть сетевым графиком.

Сетевым графиком состоит из двух основных элементов: дуг (стрелок) и вершин

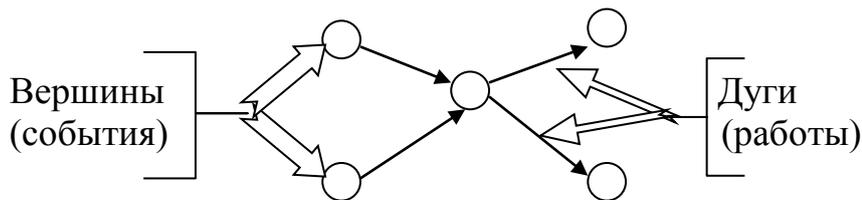


Рис. 2.4.1

Дуги графика обычно задают работы; вершины, которые какие-либо дуги соединяют, называют событиями.

Дуга (стрелка) используется для отображения:

- а) действительной работы,
- б) работы-ожидания,
- в) фиктивной работы.

Под действительной работой будем понимать процесс, требующий для своего осуществления затрат времени и ресурсов (например, возведение фундаментов, монтаж каркаса и т.п.).

Под работой-ожиданием будем понимать процесс, требующий для своего осуществления затрат времени, но не требующий затрат ресурсов (например, твердение бетона, охлаждение цементной печи т.п.).

Фиктивная работа используется для отображения взаимосвязи между событиями.

Событие отображает результат одной или совокупный результат нескольких работ, представляющий возможность начать одну или несколько непосредственно следующих (из данного события) работ.

Если работа отображается дугой, примыкающей к некоторому событию своим концом, то такая работа называется входящей в данное событие.

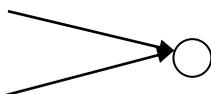


Рис. 2.4.2. Входящие работы

Если работа отображается дугой, примыкающей к некоторому событию своим началом, то такая работа называется выходящей из данного события.

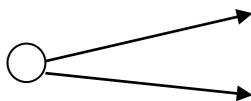


Рис. 2.4.3. Выходящие работы

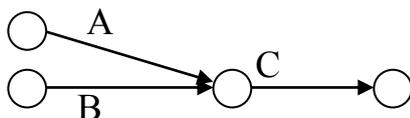
Событие считается свершившимся, если окончены все входящие в него работы. Работы, выходящие из события, могут быть начаты только после свершения данного события. Таким образом, работы, входящие в событие, должны быть выполнены ранее работ, выходящих из этого события. Событие, за которым непосредственно следует работа (из которого работа выходит) называется начальным событием данной работы. Событие, которому работа непосредственно предшествует, называется конечным событием данной работы.

Топологией сетевого графика называется его структура, определяющая взаимозависимость событий и работ. События кодируются числами. При правильной кодировке код начального события должен быть меньше кода конечного события. Работы обозначаются с помощью кодов начального и конечного событий. Если начальное событие имеет код  $i$ , а конечное событие код  $j$ , то работу, их связывающую, будем обозначать  $(i,j)$ .

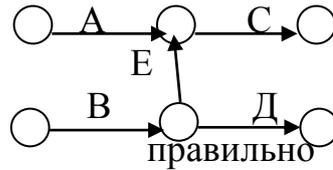
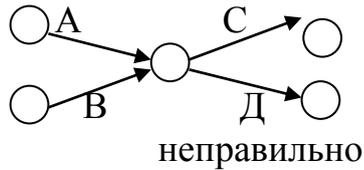
Правила построения сетевого графика

Условимся знаком  $\ll$  обозначать предшествование работ друг другу, т.е. запись  $A \ll B$  означает, что работа  $A$  должна быть завершена до начала работы  $B$ .

1. Если работы  $A$  и  $B$  предшествуют работе  $C$  ( $A, B \ll C$ ), то это изображается следующим образом:

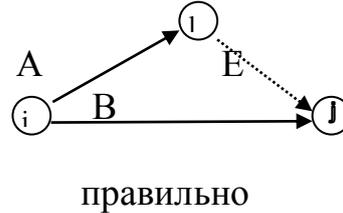
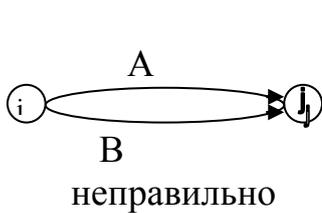


2. Если  $A, B \ll C$  и  $B \ll D$ , то изображение



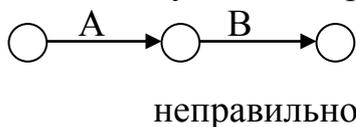
В правильном фрагменте используется фиктивная работа E. Поскольку на работу E не затрачиваются ни время, ни ресурсы, заданные отношения упорядочения выполняются.

3. Если для начала работ A и B необходимо свершение события i, а окончание работ A и B необходимо для свершения события j, то такая ситуация изображается так:



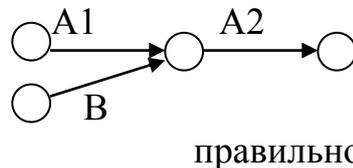
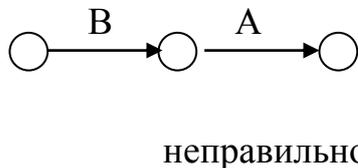
Любые два события должны быть непосредственно связаны не более чем одной работой (стрелкой). Такой способ изображения вводится для того, чтобы работы A и B различались при обозначении с помощью кодов начального и конечного события. Работу A обозначим тогда  $(i, l)$ , а работу B –  $(i, j)$ . Работа E –  $(l, j)$  – фиктивная.

4. Если для начала работы B достаточно выполнить только часть работы A, то эта ситуация изображается

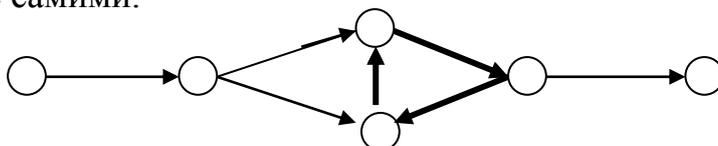


т.е. работа A разбивается на две части (работы) A1 и A2, где A1 та часть работы A, после которой можно начинать работу B.

5. Если результат работы B нужен не к началу работы A, а к некоторому промежуточному моменту, то это изображается так:



6. В сетевом графике не должно быть замкнутых контуров (циклов, петель), т.е. путей, соединяющих некоторые события посредством стрелок с ними же самими.



7. В сетевом графике может быть только одно событие, которому не предшествует ни одна работа. Это событие назовем исходным. Исходное

событие отражает необходимые условия для начала выполнения всего комплекса работ.

8. В сетевом графике может быть только одно событие, из которого не выходит ни одна работа. Это событие назовем завершающим. Завершающее событие отражает конечную цель выполнения всего комплекса работ.

В последующем будут рассмотрены случаи, когда требование единственности исходного и завершающего событий необязательно.

Кроме выше приведенных примеров фиктивные работы (или события) могут вводиться и в ряде других случаев, например, для отражения зависимости событий, не связанных с реальными работами. На сетевом графике такие фиктивные работы (связи) показываются пунктирными стрелками. Кроме того, фиктивные работы могут вводиться для отражения реальных отсрочек и ожидания.

### 2.4.2. Временные параметры сетевого графика

Каждой дуге сетевого графика поставим в соответствие некоторое число, соответствующее продолжительности работы, отображаемой данной дугой. Число, приписанное дуге  $(i,j)$ , будем называть длиной дуги и обозначать  $t_{ij}$ .

Множество дуг, упорядоченное таким образом, что конечное событие одной из них является начальным событием другой, называется путем.

Рассмотрим небольшой пример.

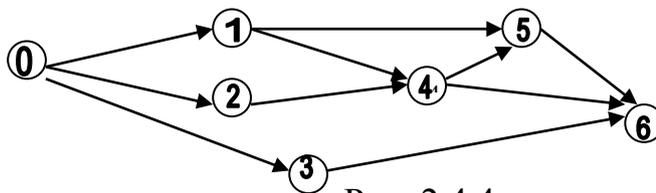


Рис. 2.4.4

Будем различать четыре вида пути:

а) полный путь – путь, начало которого совпадает с исходным событием сети, конец – с завершающим, например,  $(0,1)-(1,4)-(4,5)-(5,6)$  или  $(0,2)-(2,4)-(4,6)$ .

б) путь, предшествующий событию – это путь от исходного события до данного события, например, для события 4 предшествующими путями будут  $(0,2)-(2,4)$  и  $(0,1)-(1,4)$ .

в) путь, следующий за событием – это путь от данного события до завершающего, например, для события 2 это пути  $(2,4)-(4,5)-(5,6)$  и  $(2,4)-(4,6)$ .

г) путь между двумя событиями – путь, начало и конец которого совпадают с соответствующими событиями, например, между событиями 2 и 5 лежит путь  $(2,4)-(4,5)$ .

Под длиной пути будем понимать продолжительность выполнения всей последовательности работ, составляющих данный путь.

Таким образом, длина пути равна сумме длин всех дуг данного пути.

Наиболее продолжительный полный путь в сетевом графике называется критическим. Критическими называются также работы и события, расположенные на этом пути.

Рассмотрим еще один пример сетевого графика. Цифры на каждой дуге означают продолжительности работ.

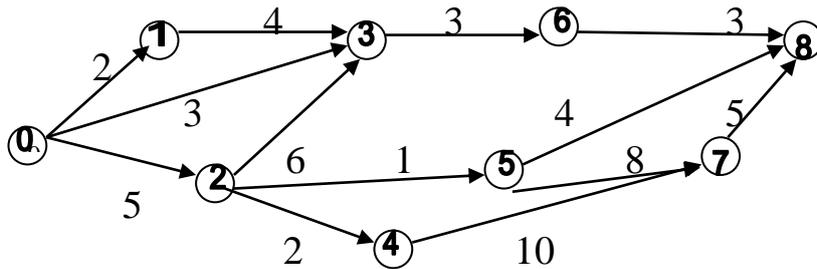


Рис. 2.4.5

Здесь полными путями будут:

путь (0,1)-(1,3)-(3,6)-(6,8) продолжительностью  $2+4+3+3=12$ ,

путь (0,3)-(3,6)-(6,8) продолжительностью  $3+3+3=9$ ,

путь (0,2)-(2,3)-(3,6)-(6,8) продолжительностью  $5+6+3+3=17$ ,

путь (0,2)-(2,5)-(5,7)-(7,8) продолжительностью  $5+1+8+5=19$ ,

путь (0,2)-(2,5)-(5,8) продолжительностью  $5+1+4=10$  и

путь (0,2)-(2,4)-(4,7)-(7,8) продолжительностью  $5+2+10+5=22$ .

Перебрав все полные пути, мы видим, что последний путь имеет наибольшую продолжительность, поэтому он и является критическим (далее мы приведем способ определения критического пути без перебора всех полных путей). Продолжительность критического пути составляет 22 (например, дня), т.е. для проведения всего комплекса работ понадобится 22 дня. Быстрее комплекс выполнить нельзя, так как для достижения цели (завершающего события) работы критического пути надо выполнить обязательно. Определив критический путь, мы тем самым установили критические события сети 0, 2, 4, 7, 8 и критические работы (0,2), (2,4), (4,7), (7,8).

Критический путь имеет особое значение в системах сетевого планирования и управления. Действительно, срыв сроков выполнения какой-либо работы критического пути влечет срыв срока выполнения всего комплекса в целом, и, с другой стороны, для сокращения продолжительности проекта необходимо в первую очередь сокращать продолжительность работ, лежащих на критическом пути.

Временные параметры сети состоят из временных параметров событий и временных параметров работ. Рассмотрим содержание и алгоритм расчета параметров событий.

Временем  $T_j$  наступления (или свершения) события  $j$  считается момент окончания всех работ, входящих в это событие.

*Минимальное (самое раннее) время*  $T_j^0$  наступления события  $j$  равно длине максимальному из путей, предшествующих данному событию. Очевидно, что это время является и самым ранним временем начала работ, выходящих из этого события. Например, в последнем примере событие 3 может свершиться не ранее, чем через 11 дней от исходного события, т.к. наибольшая длина пути, предшествующего данному событию (пути (0,2)-(2,3)) равна 11.

*Критическим временем* выполнения комплекса работ будем называть раннее время наступления завершающего события. Критическое время – это минимальное количество времени, необходимое для выполнения всего комплекса работ, очевидно, совпадает с длиной критического пути.

Для вычисления  $T_j^0$  необходимо сначала рассмотреть все события  $i$ , соединенные дугой  $(i,j)$  с данным событием  $j$ , вычислить для них ранние времена и при этом на каждом шаге использовать формулу

$$T_j^0 = \max_{\forall i} \{ T_i^0 + t_{ij} \} \quad (2.4.1)$$

Вычисления начинаются с исходного события и продолжаются до тех пор, пока не будет достигнуто завершающее событие всей сети.

Проиллюстрируем алгоритм вычисления ранних времен.

Принимаем  $T_0^0 = 0$ . Поскольку в событие 1 входит только одна работа (0,1) продолжительностью  $t_{01} = 2$ , то  $T_1^0 = T_0^0 + t_{01} = 0 + 2 = 2$ .

Рассмотрим далее событие 2 (Заметим, что событие 3 пока рассматривать нельзя, так как срок  $T_2^0$  еще неизвестен). Таким образом,  $T_2^0 = T_0^0 + t_{02} = 0 + 5 = 5$ . Перейдем теперь к событию 3. Поскольку в него входят три дуги (0,3), (2,3) и (1,3), то

$$T_3^0 = \max_{i=0,1,2} \{ T_i^0 + t_{i3} \} = \max \{ 0 + 3; 2 + 4; 5 + 6 \} = 11.$$

Вычисления продолжаем аналогичным образом, пока не будут определены значения  $T_j^0$  для всех событий  $j$ . Имеем

$$T_4^0 = T_2^0 + t_{24} = 5 + 2 = 7,$$

$$T_5^0 = T_2^0 + t_{25} = 5 + 1 = 6,$$

$$T_6^0 = T_3^0 + t_{36} = 11 + 3 = 14,$$

$$T_7^0 = \max_{i=4,5} \{ T_i^0 + t_{i7} \} = \max \{ 7 + 10; 6 + 8 \} = 17,$$

$$T_8^0 = \max_{i=5,6,7} \{ T_i^0 + t_{i8} \} = \max \{ 6 + 4; 14 + 3; 17 + 5 \} = 22.$$

На этом вычисления  $T_i^0$  заканчиваются.

Теперь от завершающего события к исходному (справа налево) определяем  $T_i^1$  – максимально допустимый (**поздний**) срок завершения всех работ, входящих в данное событие, при котором критическое время выпол-

нения всего комплекса работ останется неизменным. Если обозначить  $\mathbf{n}$  – завершающее событие сети, то  $T_n^1 = T_n^0$  является отправной точкой алгоритма вычисления поздних сроков. В общем виде для любого события  $i$ ,

$$T_i^1 = \min_{\forall j} \{ T_j^1 - t_{ij} \} \quad \text{для всех дуг } (i,j). \quad (2.4.2)$$

Вычислим значения  $T_i^1$  на последнем примере (рис.2.4.5).

$$T_8^1 = T_8^0 = 22,$$

$$T_7^1 = T_8^1 - t_{78} = 22 - 5 = 17,$$

$$T_6^1 = T_8^0 - t_{68} = 22 - 3 = 19,$$

$$T_5^1 = \min_{j=7,8} \{ T_j^1 - t_{5j} \} = \min \{ 17 - 8; 22 - 4 \} = 9,$$

$$T_4^1 = T_7^1 - t_{47} = 17 - 10 = 7,$$

$$T_3^1 = T_6^1 - t_{36} = 19 - 3 = 16,$$

$$T_2^1 = \min_{j=3,4,5} \{ T_j^0 - t_{2j} \} = \min \{ 16 - 6; 7 - 2; 9 - 1 \} = 5,$$

$$T_1^1 = T_3^1 - t_{13} = 16 - 4 = 12,$$

$$T_0^1 = \min_{j=1,2,3} \{ T_j^1 - t_{0j} \} = \min \{ 12 - 2; 5 - 5; 16 - 3 \} = 0.$$

Определим резерв времени  $R_i$   $i$ -го события как разность между поздним и ранним сроками его свершения:

$$R_i = T_i^1 - T_i^0 \quad (2.4.3)$$

Резерв времени события показывает, на какой допустимый период времени можно задержать наступление данного события, не вызывая при этом увеличения срока выполнения комплекса работ. Сведем результаты вычислений значений  $T_i^1$ ,  $T_i^0$  и  $R_i$  в таблицу 2.4.1.

Теперь, используя данные табл. 2.4.1, можно определить работы критического пути (без полного перебора полных путей). Работа  $(i,j)$  принадлежит критическому пути, если она удовлетворяет следующим трем условиям:

Таблица 2.4.1

Номер события	Сроки свершения события		Резерв времени $R_i$
	Ранний $T_i^0$	Поздний $T_i^1$	
0	0	0	0
1	2	12	10
2	5	5	0
3	11	16	5
4	7	7	0
5	6	9	3
6	14	19	5
7	17	17	0
8	22	22	0

$$\begin{aligned} T_i^0 &= T_i^1 \\ T_j^0 &= T_j^1 \\ T_j^0 - T_i^0 &= T_j^1 - T_i^1 = t_{ij} \end{aligned} \quad (2.4.4)$$

По существу, эти условия означают, что между ранним сроком начала (окончания) и поздним сроком начала (окончания) критической работы запас времени отсутствует. Условиям (2.4.4) удовлетворяют работы (0,2), (2,4), (4,7) и (7,8), т.е. они образуют критический путь, в чем мы и ранее убедились перебором всех полных путей.

#### Временные параметры работ.

Различают несколько разновидностей резервов времени работ, мы рассмотрим два основных вида: **полный резерв** и **свободный резерв**. Полный резерв работы (i,j) определяется по формуле:

$$R_{ij}^n = T_j^1 - T_i^0 - t_{ij} \quad (2.4.5)$$

$R_{ij}^n$  показывает, на сколько можно увеличить время выполнения данной работы при условии, что срок выполнения всего комплекса работ не изменится. Кроме того, полный резерв времени есть разность между критическим временем и длиной максимального полного пути, проходящего через эту работу.

Полный резерв критических работ равен 0. У некритических работ  $R_{ij}^n > 0$ . При использовании полного резерва времени только для одной работы резервы времени остальных работ, лежащих на максимальном пути, проходящем через нее, будут полностью исчерпаны, т.е. увеличение продолжительности некритической работы за счет использования всего ее полного резерва обязательно влечет появление нового критического пути, в состав которого войдет эта работа.

Опоздание начала некритической работы (i,j) по сравнению с  $T_i^0$  на всю величину ее полного резерва влечет за собой необходимость начинать все работы, выходящие из события j в наиболее позднее допустимое время  $T_j^1$  наступления этого события.

Свободный резерв времени  $R_{ij}^c$  работы (i,j) представляет часть полного резерва времени, на которую можно увеличить продолжительность работы, не изменив при этом раннего срока ее конечного события. Этим резервом можно располагать при выполнении данной работы в предположении, что ее начальное и конечное события свершаются в свои самые ранние сроки.

$$R_{ij}^c = T_j^0 - T_i^0 - t_{ij} \quad (2.4.6)$$

Таким образом, свободный резерв времени может быть использован на увеличение продолжительности данной и предшествующих работ без нарушения резерва времени последующих работ.

Для примера на рис. 2.4.5 проведем вычисления по формулам (2.4.5), (2.4.6). В табл. 2.4.2 приведены результаты расчетов временных параметров работ.

Она содержит всю необходимую для построения календарного плана (графика) информацию. Когда полный резерв равен 0, свободный резерв также должен быть равен 0.

Таблица 2.4.2

(i,j)	$t_{ij}$	$T_i^0$	$T_j^1$	$R_{ij}^n$	$R_{ij}^c$
(0,1)	2	0	12	10	0
(0,2)	5	0	5	0	0
(0,3)	3	0	16	13	8
(1,3)	4	2	16	10	5
(2,3)	6	5	16	5	0
(2,4)	2	5	7	0	0
(2,5)	1	5	9	3	0
(3,6)	3	11	19	5	0
(4,7)	10	7	17	0	0
(5,7)	8	6	17	3	3
(5,8)	4	6	22	12	12
(6,8)	3	14	22	5	5
(7,8)	5	17	22	0	0

Конечным результатом выполняемых на сетевой модели расчетов является **календарный график (план)**. При построении календарного графика необходимо учитывать наличие ресурсов, так как одновременное выполнение некоторых работ из-за ограничений, связанных с рабочей силой, оборудованием, материальными и другими видами ресурсов, может оказаться невозможным. Проблемам оптимизации потребления ограниченных ресурсов на основе сетевых моделей посвящен пункт 2.4.8. Далее на нашем примере (исходный график на рис. 2.4.5, расчетные данные в табл.2.4.2) иллюстрируется процедура построения календарного плана при отсутствии ограничений на ресурсы. Результат на рис 2.4.6.



– «калибровка» – при заданных ограничениях в потреблении ресурсов найти такое их распределение, которое обеспечивает завершение всей программы за минимальное время;

– «сглаживание» – при соблюдении заданной продолжительности выполнения программы требуется так распределить ресурсы по отдельным работам, чтобы их потребление было оптимальным.

Калибровка используется, когда главным приоритетом является строгое соблюдение ограничений по ресурсам, тогда как сглаживание применяется, когда необходимо соблюсти заданные сроки выполнения проекта.

Кроме того, осуществляется оптимизация сетевого графика методом *время-стоимость*. Для чего составляется график зависимости стоимости проекта от продолжительности его выполнения; используя его, определяется минимальная стоимость проекта при любом возможном сроке его выполнения, а с другой стороны, находится минимальная продолжительность выполнения проекта при заданной его стоимости. С помощью этой функции можно также оценить дополнительные затраты, связанные с сокращением сроков завершения проекта.

*Приведение сетевого графика к заданному сроку.*

Процедура приведения сетевого графика к заданному сроку не относится к классу оптимизационных задач. На основе анализа сетевого графика нам необходимо принять некоторое целенаправленное решение, а именно, обеспечить окончание комплекса работ к заданному (директивному) сроку. Обозначим его  $T^{дир}$ . Речь не идет о поиске наилучшего (по какому-нибудь критерию) решения, а лишь о целенаправленном решении.

Мы рассмотрим процедуру приведения сетевого графика к заданному сроку, которая осуществляется, как правило, при использовании метода PERT или СРМ. Эта процедура не формализована, т.е. не является строгим алгоритмом, как, например, при расчете параметров сетевого графика. Приведение сетевого графика к заданному сроку осуществляется при творческом анализе информации, которую дает сетевой график, и конкретных производственных условий, не отраженных в сетевой модели, так называемых *внемодельных факторов*.

Вначале сравниваем критическое время комплекса работ ( $T_n^0$ ) с директивным. Если  $T_n^0 \leq T^{дир}$ , то сокращать ничего не нужно.

Если  $T_n^0 > T^{дир}$ , то критическое время необходимо сократить на величину  $\Delta = T_n^0 - T^{дир}$ , причем прежде всего сокращению подлежат работы критического пути. Кроме того, необходимо проанализировать пути, содержащие работы, у которых  $R_{ij}^n < \Delta$ . Если эти пути содержат работы критического пути, уже сокращенные на общее количество дней, меньшее  $\Delta$ , или не содержат таких работ вообще, то и некоторые работы подобных (так называемых, *подкритических*) путей также необходимо сократить. В про-

тивном случае, после сокращения работ критического пути подкритический путь становится новым критическим путем.

Какие именно работы и на сколько сокращать – в этом и заключается творчество, базирующееся на доскональном знании производственной ситуации. Сокращение продолжительности работ можно достичь добавлением ресурсов (рабочей силы, механизмов и т.п.). При этом снимать ресурсы можно с *некритических* работ (их продолжительность можно увеличивать в пределах рассчитанных резервов). Сокращение отдельных путей также можно произвести за счет совмещения (параллельного выполнения) некоторых работ пути, при этом частично изменяется топология сетевого графика.

Рассмотрим опять наш пример (рис 2.4.5).

Пусть  $T^{дир} = 18$ , тогда  $\Delta = 22 - 18 = 4$ . Значит, необходимо на 4 дня сократить длину критического пути. Также следует рассмотреть путь, содержащий работы (2,5) и (5,7), так как  $R_{25}^n = R_{57}^n = 3 < 4$ . Этот путь имеет общие работы с критическим путем – (0,2) и (7,8). Если производственная ситуация позволяет сократить их продолжительность на 2 дня каждую, то критический путь и подкритический (0,2)-(2,5)-(5,7)-(7,8) сокращаются на 4 дня, что нам и требовалось.

#### **2.4.4. Организационные аспекты применения сетевых моделей**

Сетевое планирование и управление комплексами работ (программами, проектами) включает три основных этапа: *структурное планирование, календарное планирование и оперативное управление.*

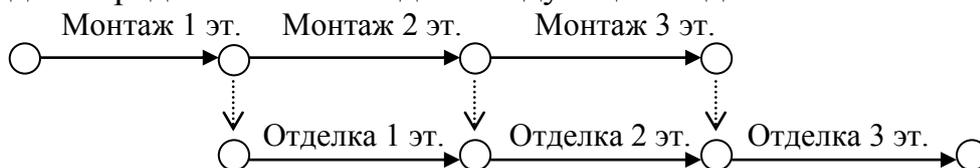
Этап структурного планирования начинается с разбиения проекта на четко определенные работы (операции). Затем определяются оценки продолжительности работ, и строится сетевая модель. Кстати, при поразительном сходстве независимо разработанных методов PERT и СРМ (упомянутых в самом начале), существенным различием первоначально было то, что в методе СРМ оценки продолжительности работ предполагались детерминированными величинами, а в методе PERT – случайными. Построение сетевой модели на этапе структурного планирования позволяет детально проанализировать все работы и внести улучшения в структуру проекта еще до начала его реализации.

Конечной целью этапа календарного планирования является построение календарного графика работ. Выявленным работам критического пути необходимо уделять особое внимание, чтобы закончить проект в директивный срок. Что касается некритических работ, то их резервы времени можно выгодно использовать при задержке выполнения таких работ или с позиций эффективного использования ресурсов.

Заключительным этапом является оперативное управление процессом реализации проекта. Этот этап включает использование сетевой модели и

календарного графика для составления периодических отчетов о ходе выполнения проекта. Случаи, когда на этапе планирования удастся разработать календарный план, в точности соблюдаемый на этапе реализации проекта, встречаются крайне редко. Как правило, некоторые работы выполняются быстрее или медленнее, добавляются новые и упраздняются старые, что, естественно, зависит от конкретных условий. При возникновении таких отклонений от исходного календарного плана возникает необходимость разработки нового плана для остальной части проекта. В этом случае уже законченным работам приписываются нулевые значения продолжительности. Частично выполненным работам приписываются оценки продолжительности, соответствующие их незавершенному объему. В сеть вносятся также структурные изменения, т.е. исключаются работы, которые по каким-либо причинам стали излишними, и вводятся работы, не предусмотренные ранее, но необходимые в будущем. После этого рассчитывается новый календарный план и оценивается возможное изменение продолжительности проекта. В реальных условиях частые корректировки календарного плана, как правило, требуются на начальном этапе реализации проекта. Затем процесс выполнения переходит в установившийся режим и число требуемых корректировок календарного плана существенно сокращается.

Рассмотренные нами традиционные сетевые модели обладают рядом недостатков: в таких сетевых моделях адекватно можно отобразить только независимо или последовательно выполняемые работы. Другие схемы выполнения работ (например, параллельное или частично совмещенное их выполнение) не поддаются точному описанию. Чтобы отобразить подобные ситуации в традиционных сетевых моделях, прибегают к раздроблению работ. Например, работу «монтаж коробки здания» разбивают на работы «монтаж 1-го этажа», «монтаж 2-го этажа» и т.д., работу «отделка здания» на «отделку 1-го этажа», «отделку 2-го этажа» и т.д. Фрагмент сетевой модели представляется тогда в следующем виде:



Такой прием усложняет построение модели, увеличивает число работ сети, делает модель менее гибкой по отношению, например, к последовательности раздробленных работ или к изменению их продолжительностей. Кроме того, не исключено появление календарного плана, при котором работа «монтаж коробки здания» ведется с перерывами, что может быть неприемлемым в связи с требованием использования какого-либо ресурса (бригады, механизма) без простоя.

Традиционные сетевые модели, отражая одновариантную технологию и организацию работ, обладают низкой «устойчивостью» по отношению к изменениям, происходящим в объекте моделирования в процессе его функционирования, т.к. даже незначительные изменения в технологии выполнения работ требуют внесения существенных изменений в топологию сети.

Более адекватным развитием традиционных сетевых моделей являются обобщенные, вероятностные, альтернативные и стохастические модели, подробно представленные в [10].

Каждая из данных моделей имеет свою предметную область, по-своему реализует базовые функции управления проектом, и только синтез перечисленных моделей и методов позволяет построить модель, адекватно отражающую процесс реализации сложного проекта в условиях неопределенности, и при этом получить приемлемое в практическом отношении решение сформулированной задачи.

Следует отметить, что до настоящего времени широкое практическое применение нашли только методы детерминированного сетевого моделирования, некоторые эвристические методы оптимального распределения ресурсов и параметрические методы оценки затрат. Хотя точное решение стоимостных задач календарного планирования на основе классических сетевых моделей теоретически найдено, но его практическое использование сопряжено с трудностью получения фактических данных о зависимостях «время-стоимость».

#### 2.4.5. Примеры использования сетевых моделей

**Пример 1.** Построить сетевой график, согласно заданному порядку предшествования работ:

- A, B, C << D;
- A, B << E;
- A << F;
- D, E << G;
- F, G << H.

Решение приведено на рис.2.4.7.

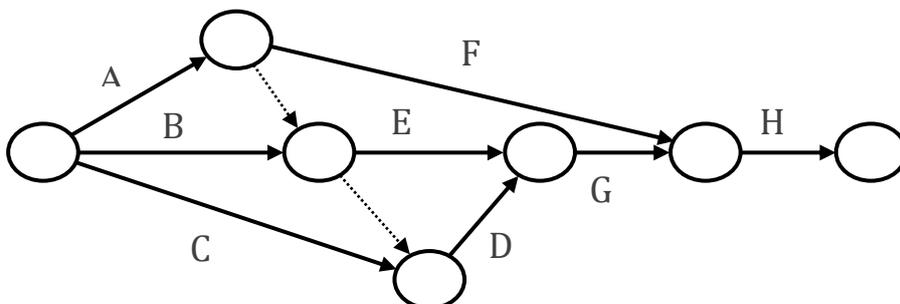


Рис. 2.4.7. Фрагмент сетевого графика

**Пример 2.** Начертить фрагмент сетевого графика, удовлетворяющего следующим условиям:

$$\begin{aligned} A, B, C &\ll D; & A, C &\ll E; \\ A, B &\ll G; \\ B, E &\ll H. \end{aligned}$$

Решение приведено на рис.2.4.8.

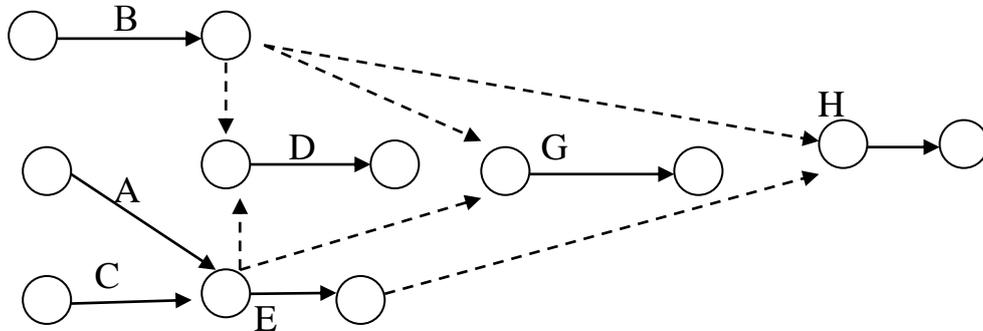


Рис. 2.4.8. Фрагмент сетевого графика

Расчет временных параметров сетевой модели и приведение критического времени к заданному сроку.

**Пример 3.** Исходный сетевой график приведен на рис 2.4.9.

Рассчитаем временные параметры сетевого графика.

$T_i^0$  – ранние сроки свершения события;

$T_i'$  – поздний срок свершения события;

Найдем критический путь – это максимально длинная по времени цепочка, соединяющая первое и последнее событие, которое определяет минимальное время выполнения всего проекта.

$T_{кр}$  – критическое время. Результаты расчетов приведены на рис 2.4.9.

Необходимо привести  $T_{кр} = T_{дир} = 44$ . Приводить будем за счет уменьшения времени работ критического пути. Результаты расчетов приведены на рис 2.4.10.

Составим таблицу временных характеристик приведенного сетевого графика выполнения работ. Где:

$R_{ij}''$  – полный резерв работ;

$R_{ij}^c$  – свободный резерв работ.

Свободный и полный резервы работ рассчитываются по формулам 2.4.5 и 2.4.6.

Результаты расчетов приведены в табл. 2.4.3.

На рисунке 2.4.11 показана линейная диаграмма, построенная по раннему сроку свершения событий.

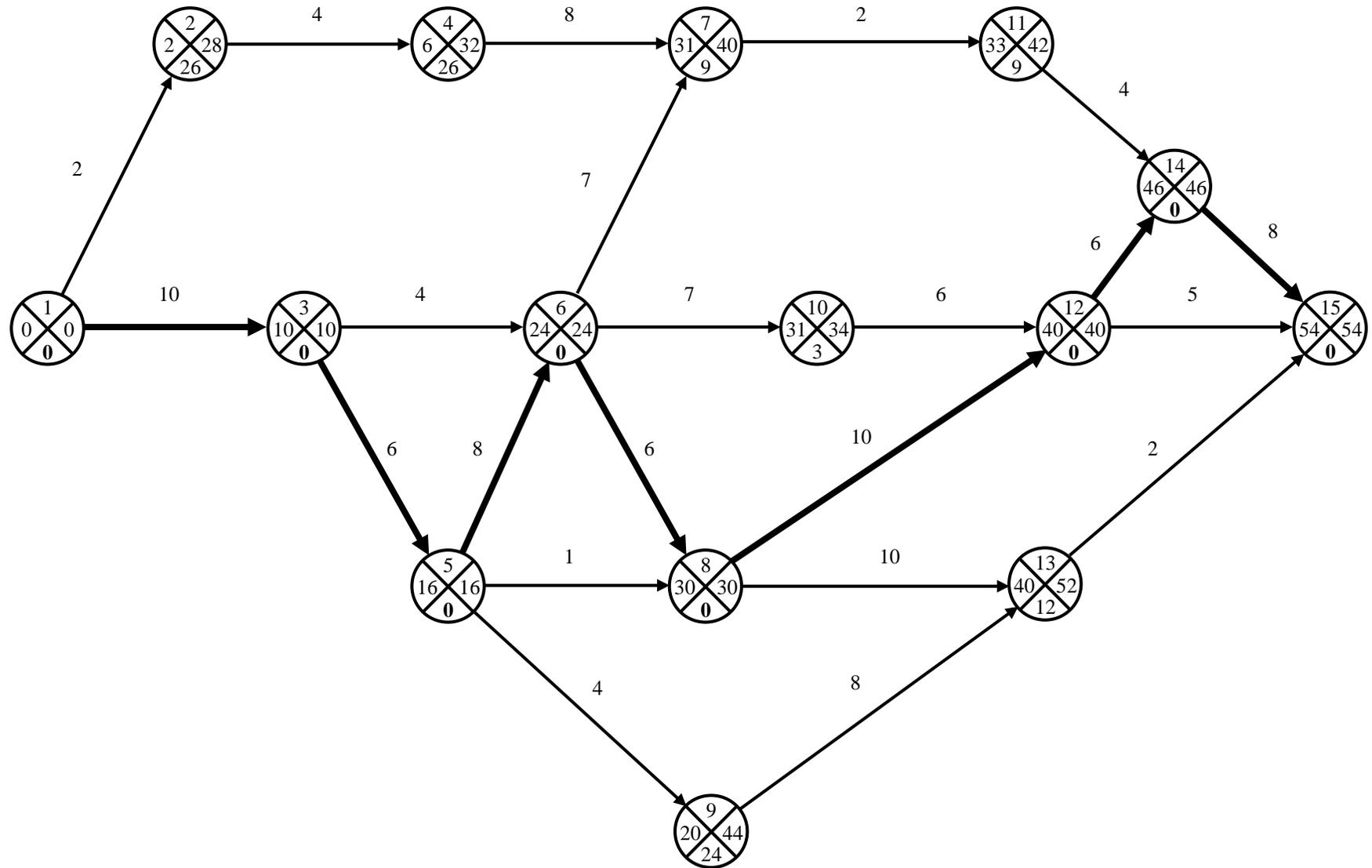


Рис. 2.4.9. Исходный сетевой график

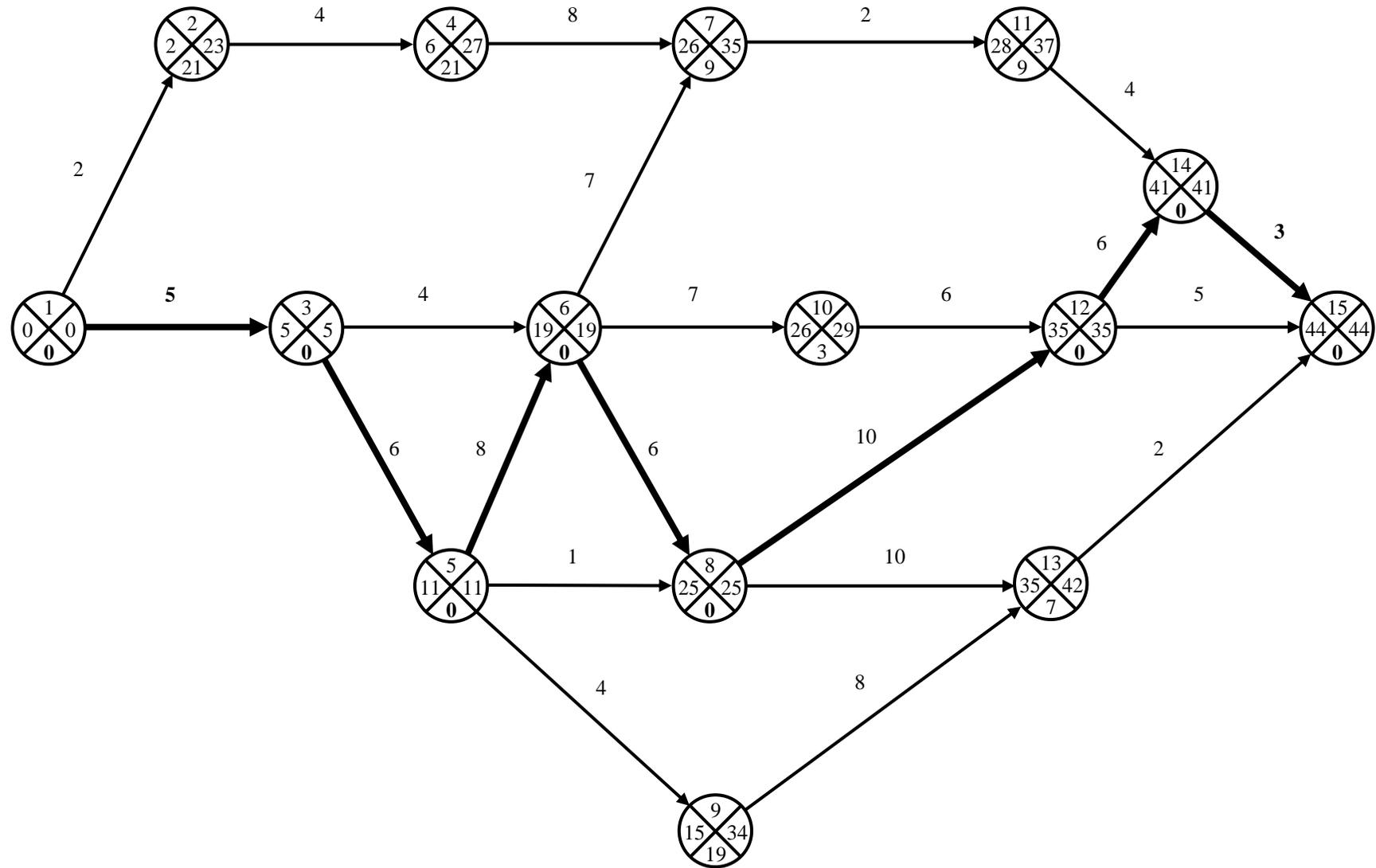


Рис. 2.4.10. Приведенный сетевой график

Таблица 2.4.3

Таблица временных характеристик работ

$(i, j)$	$t_{ij}$	$T_i^0$	$R_{ij}^H$	$R_{ij}^C$
(1,2)	2	0	21	0
(1,3)	5	0	0	0
(2,4)	4	2	21	0
(3,6)	4	5	10	10
(3,5)	6	5	0	0
(4,7)	8	6	21	12
(5,6)	8	11	0	0
(5,8)	1	11	13	13
(5,9)	4	11	19	0
(9,13)	8	15	19	12
(6,7)	7	19	9	0
(6,10)	7	19	3	0
(6,8)	6	19	0	0
(8,12)	10	25	0	0
(8,13)	10	25	7	0
(7,11)	2	26	9	0
(10,12)	6	26	3	3
(11,14)	4	28	9	9
(12,14)	6	35	0	0
(12,15)	5	35	4	4
(13,15)	2	35	7	7
(14,15)	3	41	0	0

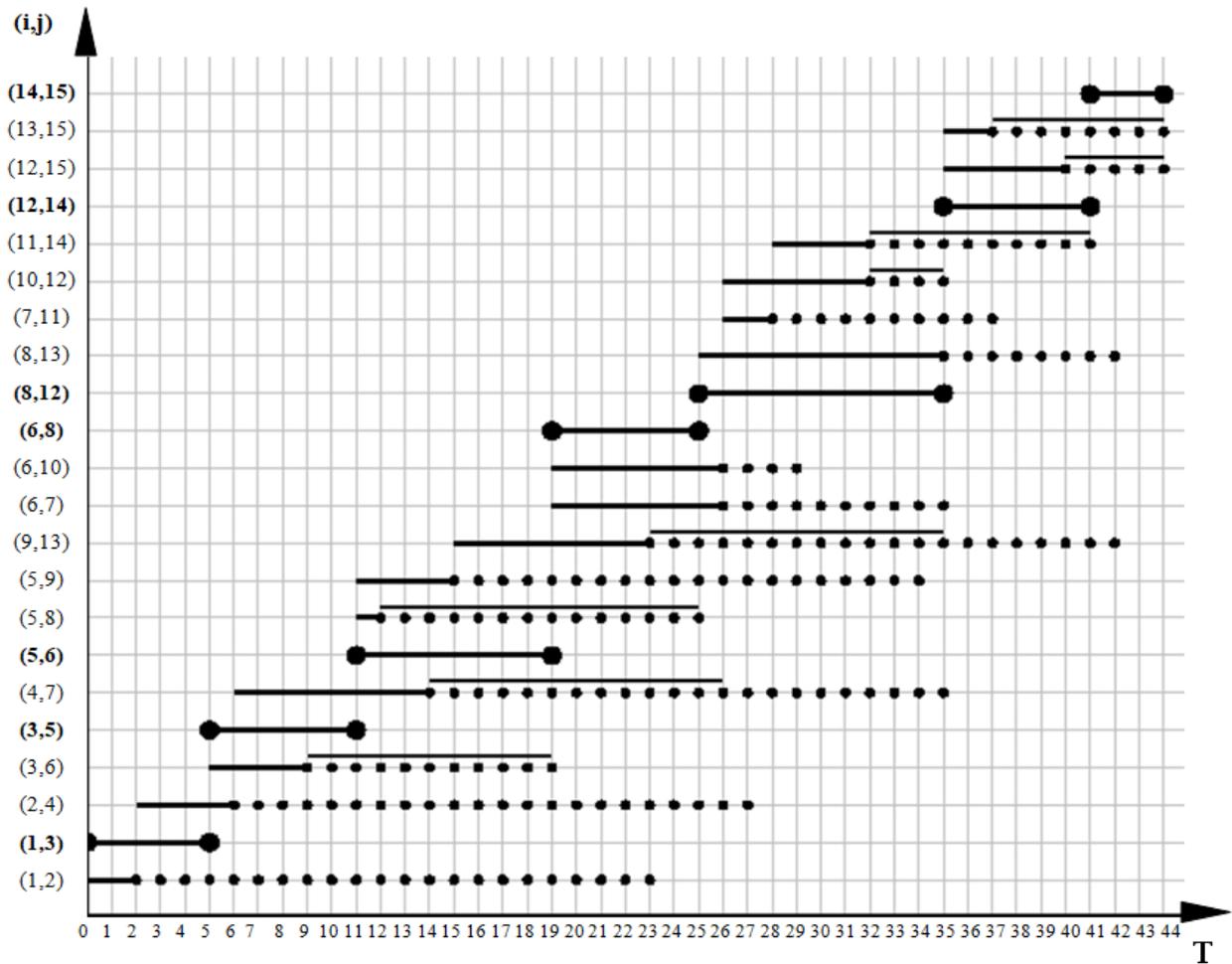


Рис. 2.4.11. Линейная диаграмма раннего срока свершения событий

**Пример 4.** Задан сетевой график (рис. 2.4.12).

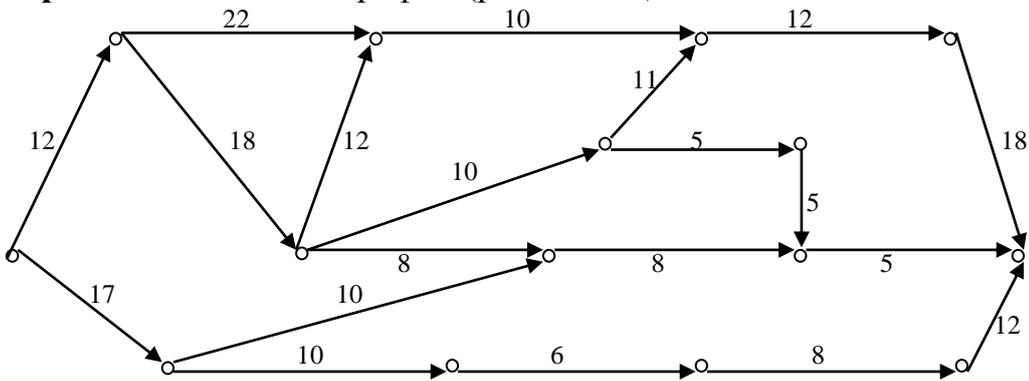


Рис. 2.4.12. Схема проведения работ

Необходимо выполнить расчет временных параметров. Привести  $T_{кр}$  к  $T_{дир}$ . ( $T_{дир} = 72$  дня).

Решение:

- 1) Рассчитываем временные характеристики событий (рис. 2.4.13)

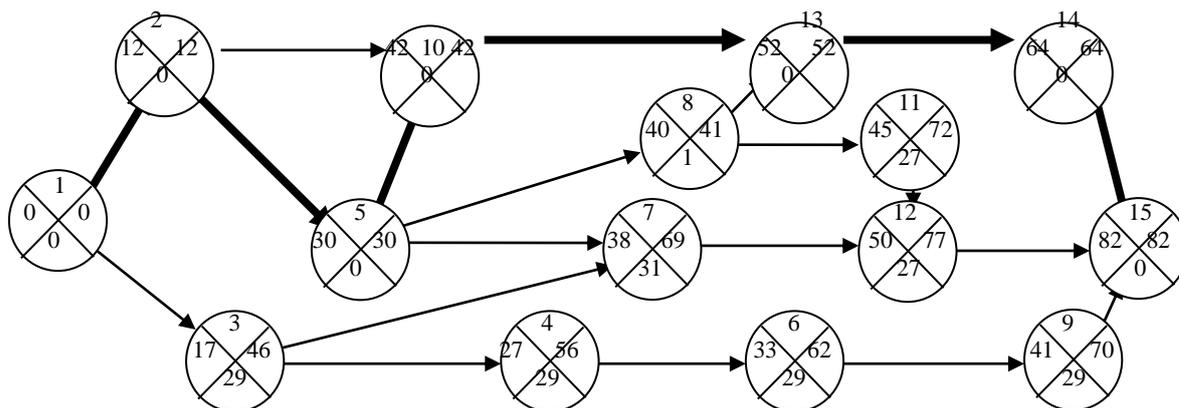


Рис. 2.4.13. Расчет сетевого графика

2) Заносим в таблицу 2.4.4 необходимые параметры сетевого графика.

Таблица 2.4.4

Параметры сетевого графика

$i,j$	$t_{i,j}$	$T_i^0$	$R_{i,j}^n$	$R_{i,j}^c$
1,2	12	0	0	0
1,3	17	0	29	0
2,5	18	12	0	0
2,10	22	12	8	8
3,4	10	17	29	0
3,7	10	17	42	11
4,6	6	27	29	0
5,7	8	30	31	0
5,8	10	30	1	0
5,10	12	30	0	0
6,9	8	33	29	0
7,12	8	38	31	4
8,11	5	40	27	0
8,13	11	40	1	1
9,15	12	41	29	29
10,13	10	42	0	0
11,12	5	45	27	0
12,15	5	50	27	27
13,14	12	52	0	0
14,15	18	64	0	0

3) Приводим  $T_{кр}$  к  $T_{дир}$ . ( $T_{дир}=72$  дня). Для этого сократим время исполнения работ (13,14) и (14,15) на 4 и 6 дней соответственно за счет привлечения дополнительных ресурсов.

Тогда сетевой график будет выглядеть, как изображено на рисунке 2.4.14. А параметры откорректированного графика приведены в таблице 2.4.5.

Таблица 2.4.5

Параметры откорректированного сетевого графика

$i,j$	$t_{i,j}$	$T_i^0$	$R_{i,j}^n$	$R_{i,j}^c$
1,2	12	0	0	0
1,3	17	0	19	0
2,5	18	12	0	0
2,10	22	12	8	8
3,4	10	17	19	0
3,7	10	17	32	11
4,6	6	27	19	0
5,7	8	30	21	0
5,8	10	30	1	0
5,10	12	30	0	0
6,9	8	33	19	0
7,12	8	38	21	4
8,11	5	40	17	0
8,13	11	40	1	1
9,15	12	41	19	19
10,13	10	42	0	0
11,12	5	45	17	0
12,15	5	50	17	17
13,14	12	52	0	0
14,15	18	64	0	0

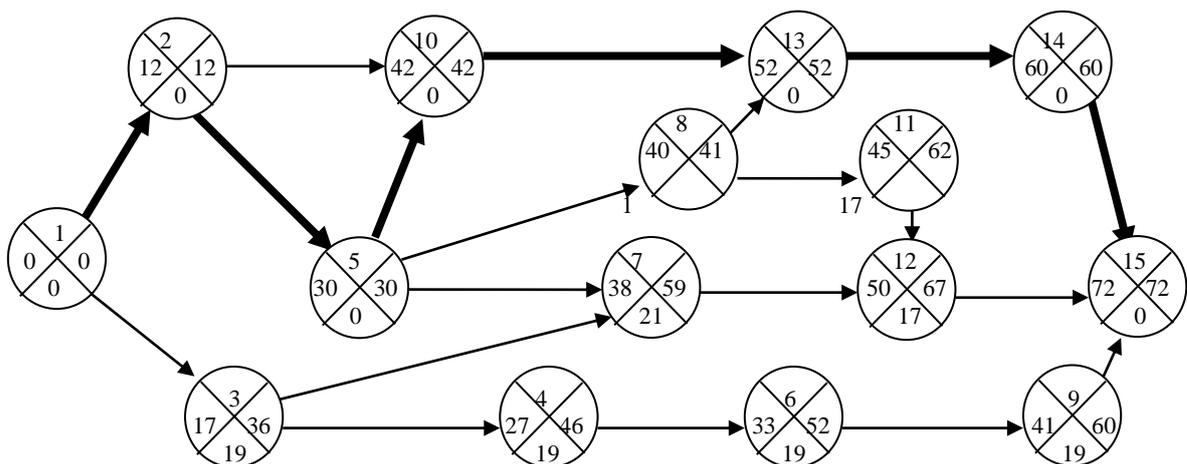


Рис. 2.4.14. Корректированный сетевой график

**Пример 5.** Построить сетевую модель и календарный график потребления ресурсов в ранние и поздние сроки по указанным в таблице 2.4.6 данным.

Таблица 2.4.6

Номера работ	Каким работам предшествует	Продолжительность работ	Потребность в трудресурсах
1	2	9	2
2	3, 4, 5	8	1
3	6	8	9
4	8	9	5
5	7	13	1
6	7	12	4
7	10, 12	14	4
8	9, 10	12	3
9	10, 12	14	8
10	11	6	4
11	14	9	1
12	13, 17	11	3
13	15	16	6
14	15	5	1
15	16	7	5
16	18	9	1
17	18	13	2
18		9	3

Решение:

На основе данных строим сетевой график проекта (рис. 2.4.15).

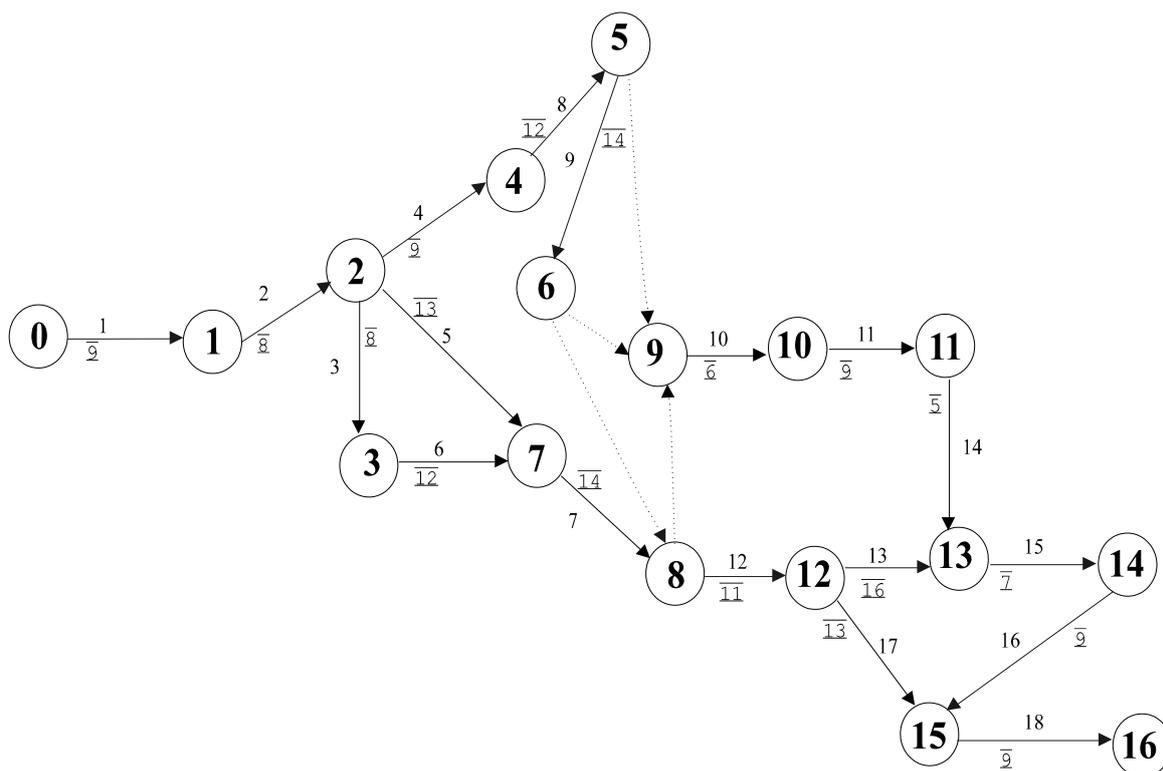


Рис. 2.4.15

События пронумерованы в кружках, линии со стрелками – работы. Рядом со стрелками-работами стоят их номера и (с черточками над и под числом) продолжительность. Пунктиром выделены фиктивные работы.

Затем рассчитаем наиболее ранние возможные сроки наступления событий и наиболее поздние допустимые сроки наступления событий (рис. 2.4.16). Наиболее ранние возможные сроки наступления событий отображены в квадратиках рядом с самим событием, над квадратиками расположены наиболее поздние допустимые сроки наступления событий. Выделяем на графике критические работы, из которых складывается критический путь. Критический путь составляют работы: 1,2,4,8,9,(из 6 до 8 события фиктивная работа),12,13,15,16,18 – эти работы выделены другим цветом на графике (рис. 2.4.16). Критическое время выполнения проекта –104.

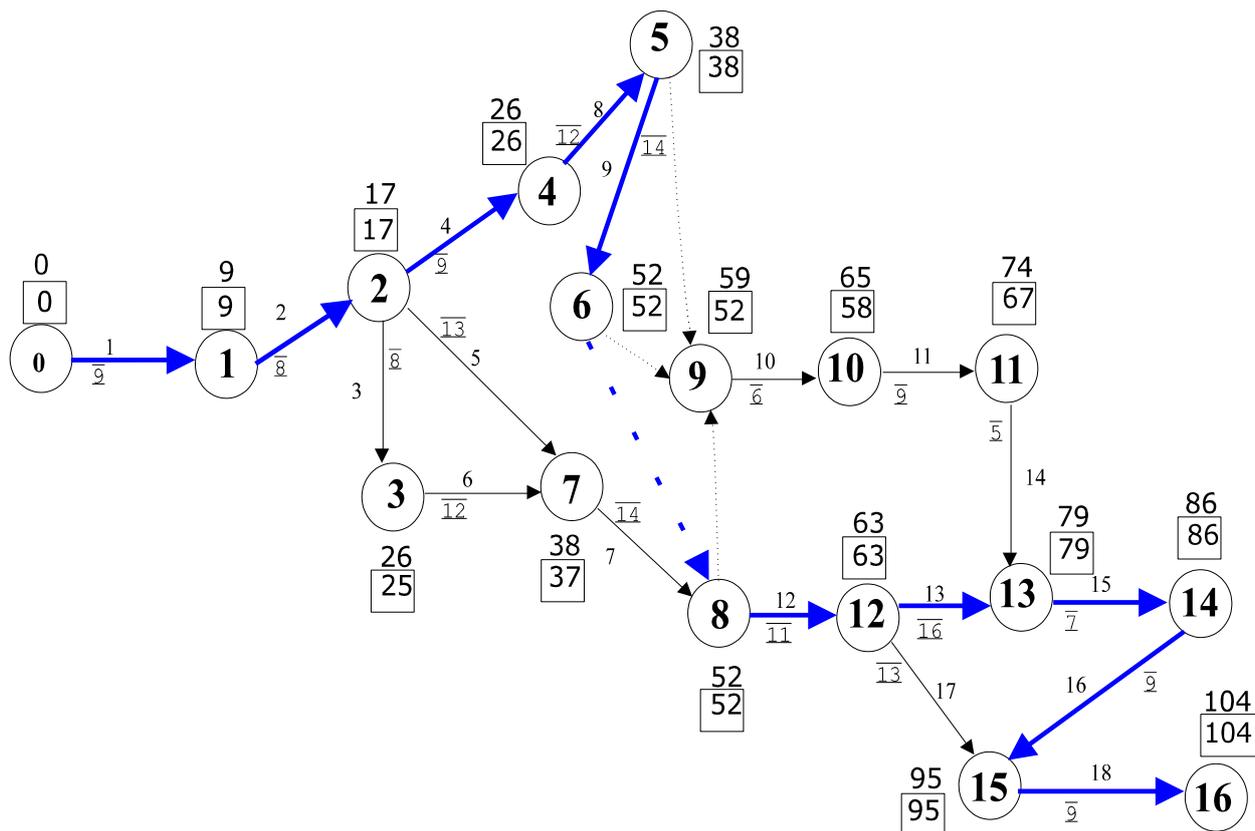


Рис. 2.4.16

Теперь вычислим резервы времени для не критических операций. Расчитанные резервы времени внесем в табл. 2.4.7.

Таблица 2.4.7

Работа	i	j	$t_{ij}$	$T_i^0$	$T_i'$	$T_j'$	$T_j^0$	Полный резерв	Свободный резерв
0 1	0	1	9	0	0	9	9	0	0
1 2	1	2	8	9	9	17	17	0	0
2 3	2	3	8	17	17	25	26	1	0
3 7	3	7	12	25	26	37	38	1	0
2 7	2	7	13	17	17	37	38	8	7
2 4	2	4	9	17	17	26	26	0	0
4 5	4	5	12	26	26	38	38	0	0
5 6	5	6	14	38	38	52	52	0	0
5 9 Фикт	5	9	0	38	38	52	59	21	14
6 9 Фикт	6	9	0	52	52	52	59	7	0
6 8 Фикт	6	8	0	52	52	52	52	0	0
8 12	8	12	11	52	52	63	63	0	0
9 10	9	10	6	52	59	58	65	7	0
10 11	10	11	9	58	65	67	74	7	0
12 13	12	13	16	63	63	79	79	0	0
11 13	11	13	5	67	74	79	79	7	7
13 14	13	14	7	79	79	86	86	0	0
12 15	12	15	13	63	63	95	95	19	19
14 15	14	15	9	86	86	95	95	0	0
15 16	15	16	9	95	95	104	104	0	0

Теперь преобразуем полученную таблицу к виду (таблица 2.4.8), необходимому для построения календарного графика проекта. Введем в таблицу для каждой работы срок позднего начала и срок раннего окончания.

Также добавим графу, указывающую на потребности в ресурсах каждой работы.

Таблица 2.4.8

Операция		$t_{i,j}$	Раннее		Позднее		Полный резерв	Свободный резерв	Ресурсы	
			Начало	Окончание	Начало	Окончание				
0	1		9	0	9	0	0	2		
1	2		8	9	17	9	17	0	1	
2	3		8	17	25	18	26	1	9	
3	7		12	25	37	26	38	1	4	
2	7		13	17	30	25	38	8	7	1
2	4		9	17	26	17	26	0	0	5
4	5		12	26	38	26	38	0	0	3
5	6		14	38	52	38	52	0	0	8
5	9	Фикт	0	38	38	59	59	21	14	0
6	9	Фикт	0	52	52	59	59	7	0	0
6	8	Фикт	0	52	52	52	52	0	0	0
8	12		11	52	63	52	63	0	0	3
9	10		6	52	58	59	65	7	0	4
10	11		9	58	67	65	74	7	0	1
12	13		16	63	79	63	79	0	0	6
11	13		5	67	72	74	79	7	7	1
13	14		7	79	86	79	86	0	0	5
12	15		13	63	76	82	95	19	19	2
14	15		9	86	95	86	95	0	0	1
15	16		9	95	104	95	104	0	0	3

На основе полученной таблицы строим календарный график реализации проекта и два графика ресурсных профилей проекта – в первом выберем в качестве моментов начала некритических работ их ранние возможные сроки, получим ранний календарный план реализации проекта (рис. 2.4.17), а во втором выберем в качестве моментов начала некритических работ их поздние допустимые сроки, получим поздний календарный план реализации проекта (рис. 2.4.18).

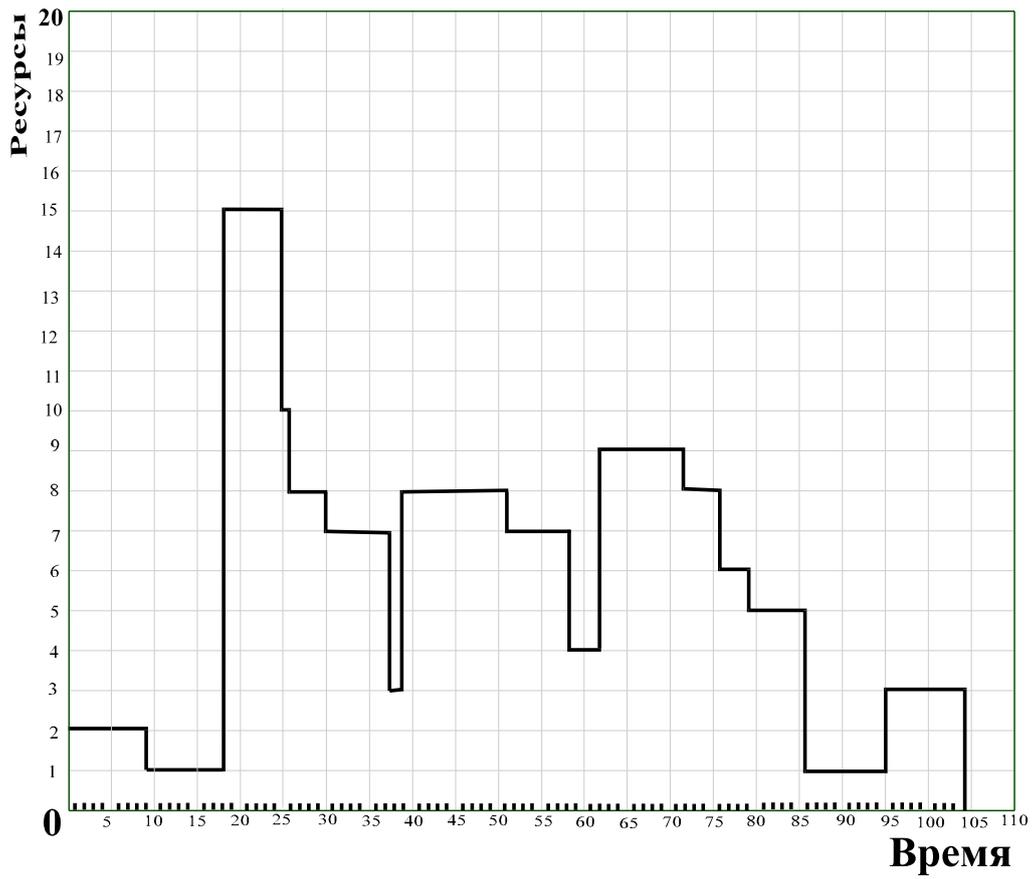


Рис 2.4.17

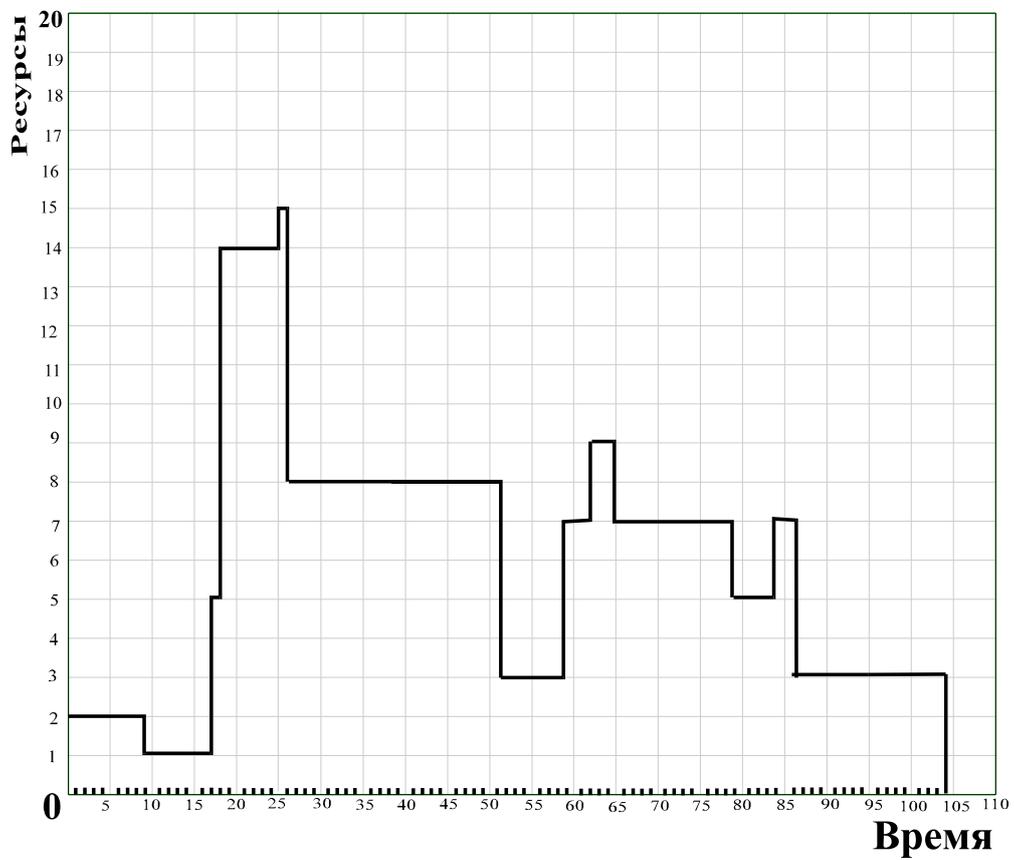


Рис 2.4.18

Максимальная потребность в ресурсах, как на раннем, так и на позднем календарных планах равна 15, но на позднем календарном плане время использования максимума ресурсов составляет 1, а на раннем плане 8. Также из графиков видно, что наиболее равномерно ресурсы распределены на позднем плане. Поэтому наиболее оптимальной реализацией проекта (их этих двух рассматриваемых вариантов) будет поздний календарный план. Передвигая сроки начала у некритических работ (в пределах резервов времени) можно добиться еще более равномерного использования ресурсов<sup>138</sup>.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Указать основные элементы сетевой модели.
2. Каковы правила построения сетевых моделей?
3. Каков принцип оптимизации задач сетевого планирования?
4. Последовательность построения сетевых графиков.
5. Алгоритм расчета временных параметров сетевой модели.
6. Идея оптимизации потребления ресурсов при управлении проектами.
7. Область применения сетевых моделей.

## **ТЕМА 2.5. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ**

### **2.5.1. Экономическое содержание задач управления запасами**

Для обеспечения непрерывного и эффективного функционирования практически любой организации необходимо создание запасов. В любой задаче управления запасами требуется определять количество заказываемой продукции и сроки размещения заказов. Спрос можно удовлетворить путем однократного создания запаса на весь рассматриваемый период времени или посредством создания запаса для каждой единицы времени этого периода. Эти два случая соответствуют избыточному запасу (по отношению к единице времени) и недостаточному запасу (по отношению к полному периоду).

При избыточном запасе требуются более высокие удельные (отнесенные к единице времени) капитальные вложения, но дефицит возникает реже и частота размещения заказов меньше. С другой стороны, при недостаточном запасе удельные капитальные вложения снижаются, но частота размещения заказов и риск дефицита возрастают. Для любого из указанных крайних случаев характерны большие экономические потери. Таким образом, решения относительно размера заказа и момента его размещения могут основываться на минимизации общих издержек, включающих затраты, обусловленные потерями от избыточного запаса и дефицита.

---

<sup>138</sup> Буркова, И.В. Математические методы и модели управления проектами: учебное пособие / И.В. Буркова, Я.Д.Гельруд, О.В. Логиновский, А.Л. Шестаков. – Челябинск: Издательский центр ЮурГУ, 2019. – 193 с.

В дальнейшем мы будем учитывать расходы трех типов:

1. Расходы, вызываемые оформлением и получением заказа при покупке или производстве.

2. Затраты на хранение запаса на складе. Сюда включаются, например, затраты на переработку, амортизационные и эксплуатационные расходы, процент на инвестированный капитал, расходы на страхование и налоги.

3. Расходы (штрафы), возникающие при истощении запасов, когда происходит задержка в обслуживании или спрос вообще невозможно удовлетворить. Эти расходы связаны с ухудшением репутации поставщика у потребителя и с потенциальными потерями прибыли.

Чрезвычайно трудно построить обобщенную модель управления запасами, которая учитывала бы все разновидности условий, наблюдаемых в реальных системах. Приведем (далеко не полный) перечень подобных условий:

1. Все затраты могут оставаться постоянными или изменяться от времени (например, в зависимости от сезона может меняться стоимость хранения продукции на складе). Затраты могут зависеть также от объема запасов (размером партии может, например, определяться оптовая скидка при покупке или стоимость хранения на складе).

2. Спрос может быть известным или неизвестным, постоянным (спрос на хлеб) или зависящим от времени (спрос на мороженое). Величина, характеризующая спрос, может быть как дискретной (плиты перекрытия), так и непрерывной (раствор).

3. Заказы на пополнение запасов могут выполняться немедленно или с определенной задержкой. Величина задержки может быть детерминированной или случайной. Заказы можно делать в любые или только в определенные моменты времени.

4. Процесс пополнения запаса может осуществляться мгновенно (заказы поступают от внешнего источника) или равномерно во времени (запасаемая продукция производится самой организацией). Размер заказа может измеряться дискретной или непрерывной величиной и может быть как постоянным, так и переменным.

5. В зависимости от отрезка времени, на котором можно надежно прогнозировать, период времени, в течение которого осуществляется регулирование уровня запаса, принимается конечным или бесконечным.

6. В систему управления запасами может входить несколько пунктов хранения запаса, образующих иерархическую структуру с различными периодами пополнения и временем поставки заказов, с возможностью обмена запасами между складами и т.п.

7. В системе управления запасами может фигурировать более одного вида продукции. Этот фактор учитывается при наличии зависимости между различными видами продукции. Так, для различных изделий может ис-

пользоваться один и тот же склад или же их производство может осуществляться при ограничениях на общие производственные мощности.

Рассмотренные далее в этой теме модели соответствуют самым простым системам управления запасами. Маловероятно, что эти модели могут точно подойти для реальных условий, однако они приведены с целью разъяснения различных подходов к решению некоторых конкретных задач управления запасами.

### 2.5.2. Детерминированная статическая модель без дефицита

Данная модель характеризуется постоянным во времени спросом, мгновенным пополнением запаса и отсутствием дефицита (т.е. нехватка товара не допускается, штраф при неудовлетворенном спросе бесконечно велик). Такую модель можно применять в следующих типичных ситуациях:

- а) использование осветительных ламп в здании;
- б) использование канцелярских товаров крупной фирмой;
- в) использование таких промышленных изделий, как гайки, болты и т.п.;
- г) потребление основных продуктов питания (например, хлеба и молока).

Предположим, что **интенсивность спроса** (в единицу времени) равна  $\beta$ . Пусть  $q$  – размер заказа,  $t_s$  – интервал времени между поступлениями заказов,  $R$  – полный спрос за все время планирования  $T$ . В данной модели наивысшего уровня запас достигает в момент поставки заказа размером  $q$  и падает до нуля спустя время  $t_s$  (рис.2.5.1).

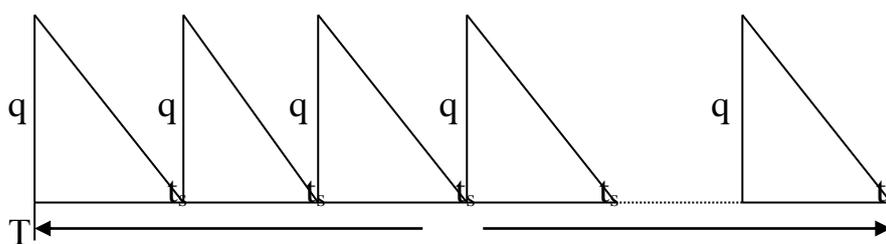


Рис. 2.5.1. Кривая запасов. Модель без дефицита

Тогда  $q/2$  – средний запас в течение  $t_s$ ,  $\beta = R/T$ ,  $t_s = q/\beta$ .

Чем меньше размер заказа  $q$ , тем чаще нужно размещать новые заказы. Однако при этом средний уровень запаса будет уменьшаться. С другой стороны, с увеличением размера заказов уровень запаса повышается, но заказы размещаются реже. Так как затраты зависят от частоты размещения заказа и объема хранимого запаса, то величина  $q$  выбирается из условия обеспечения сбалансированности между двумя видами затрат (минимизации их суммы).

Пусть  $c_1$  – затраты на оформление заказа, имеющие место всякий раз при его размещении (при покупке или производстве),  $c_2$  – затраты на хранение единицы продукции в единицу времени, тогда суммарные затраты в единицу времени можно представить как функцию от  $q$  в виде:

$$\begin{aligned} c(q) &= \text{затраты на оформление заказа в единицу времени} + \text{затраты на хранение запасов в единицу времени} = \\ &= c_1/t_s + c_2 q/2 = c_1\beta/q + c_2q/2. \end{aligned} \quad (2.5.1)$$

В точке минимума функции  $c(q)$  ее производная равна нулю:

$$c'(q) = -c_1\beta/q^2 + c_2/2 = 0,$$

откуда находим оптимальное значение размера заказа

$$q^* = \sqrt{2 c_1\beta / c_2}. \quad (2.5.2)$$

Полученное выражение обычно называют **формулой экономического размера заказа Уилсона**. Подставляя  $q^*$  в (2.5.1) определим минимальные ожидаемые суммарные накладные расходы:

$$C^* = Tc(q^*) = T\sqrt{2c_1c_2\beta}. \quad (2.5.3)$$

Время расхода оптимальной партии равно

$$t_s^* = q^* / \beta = \sqrt{2 c_1 / (\beta c_2)}. \quad (2.5.4)$$

**Пример 2.5.1.** Ежедневный спрос на некоторый товар составляет 100 ед. Затраты на размещение каждого заказа постоянны и равны 1000 руб. Ежедневные затраты на хранение единицы запаса составляют 0.2 руб. Требуется определить оптимальный размер партии, оптимальную продолжительность цикла поставок и вычислить минимум общих ожидаемых годовых затрат. Подстановка исходных данных примера в уравнения (2.5.2)-(2.5.4) нам дает

$$q^* = \sqrt{2 \times 100 \times 1000 / 0.2} = 1000 \text{ ед.}$$

$$C^* = 365 \sqrt{2 \times 100 \times 1000 \times 0.2} = 73000 \text{ руб.}$$

$$t_s^* = \sqrt{2 \times 1000 / (100 \times 0.2)} = 10 \text{ дней.}$$

Для большинства реальных ситуаций существует (положительный) *срок выполнения* заказа от момента размещения до его действительной поставки. Тогда необходимо определять *точку возобновления заказа*, как правило, через *уровень запаса*, соответствующий моменту возобновления заказа. На практике это реализуется путем непрерывного контроля уровня запаса до момента достижения очередной точки возобновления заказа.

**Пример 2.5.2.** Предположим в условиях примера 2.5.1, что срок выполнения заказа  $L$  равен 12 дням. Так как оптимальная продолжительность цикла составляет 10 дней, возобновление заказа в условиях налаженного производства происходит, когда уровень запаса достаточен для удовлетворения спроса на  $12 - 10 = 2$  дня. Таким образом, заказы размером  $q^* = 1000$  должны делаться регулярно при достижении уровня запаса  $2 \times 100 = 200$  ед. После стабилизации системы можно считать, что срок выполнения заказа равен  $L - t_s^*$  при  $L > t_s^*$ . В описанных условиях в любой момент времени

имеется более одного размещенного, но еще не выполненного заказа, и «эффективный» срок выполнения заказа принят равным 2 дням.

### 2.5.3. Детерминированная статическая модель с дефицитом

Эта модель отличается от предыдущей только тем, что превышение спроса над запасами уже допускается, т.е. штраф за нехватку конечный. График изменения уровня запаса в этом случае представлен на рис. 2.5.2. Убывание запаса в область отрицательных значений в отличие от графика на рис. 2.5.1 характеризует накопление дефицита. Каждый период пополнения запаса  $t_s$  состоит в данном случае из суммы двух интервалов, где  $t_1$  – время, в течение которого производится потребление запаса,  $t_2$  – время, когда накапливается дефицит, который будет перекрыт в момент поступления следующей партии.

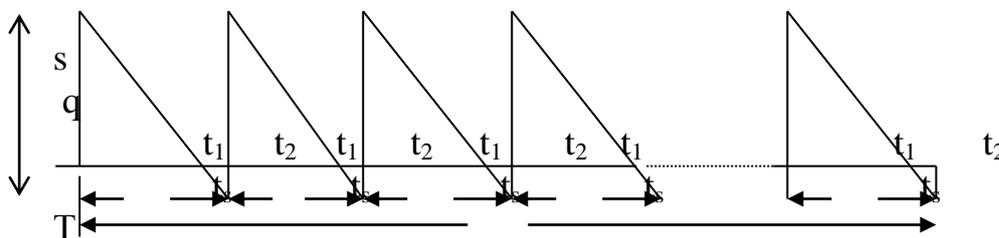


Рис. 2.5.2. Кривая запасов. Модель с дефицитом.

Необходимость покрытия дефицита приводит к тому, что максимальный уровень запаса  $s$  теперь не равен размеру заказа  $q$ , а меньше его на величину дефицита  $q - s$ , накопившегося за время  $t_2$ .

Из подобия треугольников на рис.2.5.2 имеем

$$t_1 / t_s = s / q, \quad t_2 / t_s = (q - s) / q. \quad (2.5.5)$$

Средний запас за время  $t_1$  равен  $s/2$ . Поэтому затраты на хранение за время  $t_1$  составляют  $t_1 c_2 s / 2$ . Пусть  $c_3$  – величина штрафа за нехватку одной единицы продукции в единицу времени, тогда при среднем уровне дефицита за время  $t_2$ , равном  $(q - s) / 2$ , штраф за это время составляет  $t_2 c_3 (q - s) / 2$ . Таким образом, ожидаемые суммарные расходы за время  $t_s$  равны  $c_1 + t_1 c_2 s / 2 + t_2 c_3 (q - s) / 2$  или, поделив на  $t_s$ , получаем общие затраты в единицу времени:

$$c_1 / t_s + (t_1 / t_s) c_2 s / 2 + (t_2 / t_s) c_3 (q - s) / 2.$$

Подставляя сюда (2.5.5) и  $t_s = q / \beta$ , получаем выражение для общих затрат в единицу времени как функции от  $q$  и  $s$ :

$$c(q, s) = c_1 \beta / q + c_2 s^2 / (2q) + c_3 (q - s)^2 / (2q). \quad (2.5.6)$$

Из уравнения (2.5.6) находим оптимальные значения объема заказа  $q^*$  и максимального уровня запаса  $s^*$ , при которых функция  $c$  (2.5.6) принимает минимальное значение. Для этого приравниваем частные производные  $\partial c / \partial q$ ,  $\partial c / \partial s$  к нулю и после упрощений получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} s = qc_3 / (c_2 + c_3), \\ q^2 c_3 - (c_2 + c_3)s^2 = 2c_1\beta. \end{cases} \quad (2.5.7)$$

Решая эту систему относительно  $q$  и  $s$ , находим

$$q^* = \sqrt{2 c_1 \times \beta / c_2} \sqrt{(c_2 + c_3) / c_3} \text{ и } s^* = q^* c_3 / (c_2 + c_3). \quad (2.5.8)$$

Определим минимальные ожидаемые суммарные накладные расходы за весь период  $T$ :

$$C^* = Tc(q^*, s^*) = T\sqrt{2c_1c_2\beta} \sqrt{c_3 / (c_2 + c_3)}. \quad (2.5.9)$$

Оптимальный интервал времени между заказами равен:

$$t_s^* = q^* / \beta = \sqrt{2 c_1 / (\beta c_2)} \sqrt{(c_2 + c_3) / c_3}. \quad (2.5.10)$$

При сравнении результатов, полученных для моделей без дефицита и с дефицитом, можно заметить, что уравнения (2.5.2)-(2.5.4) можно получить из уравнений (2.5.8)-(2.5.10), если  $c_3 \rightarrow \infty$ , действительно, отсутствие дефицита соответствует бесконечно большому штрафу за неудовлетворенный спрос. Отметим также, что ожидаемые суммарные расходы в модели с дефицитом меньше, чем в модели без дефицита, т.к. они отличаются на величину  $\sqrt{\rho} = \sqrt{c_3 / (c_2 + c_3)} < 1$ . Коэффициент  $\rho$  называется *плотностью убытков из-за неудовлетворительного спроса* и играет важную роль в управлении запасами.

**Пример 2.5.3.** Пусть сохраняются все условия примера 2.5.1, но только штраф  $c_3$  за нехватку теперь равен 0.4 руб. за одно изделие в день. Из уравнений (2.5.8)-(2.5.10) получаем:

$$\begin{aligned} q^* &= \sqrt{2 \times 1000 \times 100 / 0.2} \sqrt{(0.2 + 0.4) / 0.4} = 1225 \text{ ед.}, \\ s^* &= 1225 \times 0.4 / (0.2 + 0.4) = 817 \text{ ед.}, \\ C^* &= 365 \sqrt{2 \times 1000 \times 0.2 \times 100} \sqrt{0.4 / (0.2 + 0.4)} = 59604 \text{ руб.}, \\ t_s^* &= 1225 / 100 = 12.25 \text{ дней}. \end{aligned}$$

При оптимальной стратегии ожидаемый дефицит к концу каждого периода составлял бы  $1225 - 817 = 408$  изделий.

#### 2.5.4. Простая вероятностная модель

При построении этой модели штрафы, связанные с дефицитом запасов, считаются конечными, и данная модель имеет следующие особенности:

1. Спрос и пополнение запасов оцениваются на основе опытных данных.
2. Рассматривается производство и потребление дискретного продукта.
3. Распределения по времени спроса и заказов на пополнение дискретные и неравномерные.
4. Известно и постоянно время выполнения заказов.

Здесь учитываются только расходы на приобретение запасных деталей, которые могут оказаться лишними, и убытки, возникающие при их нехватке.

Пусть спрос  $r$  является случайной величиной и задан закон (ряд) распределения  $\phi(r)$ . Тогда запасу в  $s$  деталей будут соответствовать следующие

щие затраты:  $(s - r)c_2$ , если  $r \leq s$ , т.е. запас оказался чрезмерным, и  $(r - s)c_3$ , если  $s < r$ , т.е. запасных деталей не хватило. Тогда *среднее значение суммарных затрат (математическое ожидание)* имеет вид:

$$C(s) = c_2 \sum_{r=0}^s (s - r) \varphi(r) + c_3 \sum_{r=s+1}^{\infty} (r - s) \varphi(r). \quad (2.5.11)$$

Задача управления запасами при вероятностном спросе состоит в отыскании такого запаса  $s^*$ , при котором математическое ожидание суммарных затрат (2.5.11) принимает минимальное значение.

Опуская доказательство, получаем, что значение  $s^*$  должно удовлетворять неравенствам

$$P(s^* - 1) < c_3 / (c_2 + c_3) < P(s^*), \quad (2.5.12)$$

где  $P(s) = \sum_{r=0}^s \varphi(r)$  – эмпирическая функция распределения спроса (вероятность того, что спрос  $r \leq s$ ).

*Пример 2.5.4.* Пусть стоимость одной детали, если ее заказывать заранее, составляет 100 руб. Отсутствие этой детали в запасе при поломке приводит к простоя оборудования и срочный заказ детали обходится в 200 руб. Опытные данные о частоте выхода этой детали из строя приведены в табл. 2.5.1.

Таблица 2.5.1

Потребовалось запасных деталей (r)	0	1	2	3	4	5	Итого
Сколько случаев потребовало данное число деталей	20	40	50	40	30	20	200
Эмпирическая вероятность $\varphi(r)$	0.10	0.20	0.25	0.20	0.15	0.10	1

Эмпирическая вероятность  $\varphi(r)$  – это доля случаев, когда спрос равен  $r$ . Подсчитаем значение  $c_3 / (c_2 + c_3) = 200 / (100 + 200) = 0.67$ .

Оптимальное решение получается в результате построения эмпирической функции распределения спроса, которая показывает долю случаев, когда спрос *меньше либо равен*  $r$ . (табл. 2.5.2).

Таблица 2.5.2

s	0	1	2	3	4	5
P(s)	0.10	0.30	0.55	0.75	0.90	1.00

Так как  $P(2) = 0.55 < 0.67 < 0.75 = P(3)$ , то оптимальное значение  $s^* = 3$ .

Полученным аналитическим решением можно воспользоваться для *оценки потерь, возникающих при недостаточных запасах*. Предположим, что нам неизвестна зависимость штрафа от размера дефицита, а уровень запасов, который предприниматель стремится поддерживать, равен трем

деталюм. Для каюого штрафа этот уровень запасов будет оптимальным? Подставляя в (2.5.12)  $s^* = 3$ , получим

$$P(2) < c_3 / (c_2 + c_3) < P(3), \\ 0.55 < c_3 / (100 + c_3) < 0.75.$$

Определим минимальное значение  $c_3$ :

$$c_3 / (100 + c_3) = 0.55, \text{ откуда } c_3 = 122.$$

Определим максимальное значение  $c_3$ :

$$c_3 / (100 + c_3) = 0.75, \text{ откуда } c_3 = 300.$$

Следовательно, предприниматель считает, что размер штрафа за дефицит заключен в пределах от 122 до 300 руб.

*Заключение.* Общее решение задачи выбора оптимальных размеров и сроков размещения заказов на запасаемую продукцию нельзя получить на основе одной модели. Мы рассмотрели некоторые простые частные случаи. В реальных условиях потери от дефицита обычно наиболее сложно оценить, так как они могут быть обусловлены нематериальными факторами, например, ухудшением репутации. С другой стороны, хотя оценку затрат на оформление заказа получить нетрудно, включение в модель этих расходов существенно усложняет математическое описание задачи.

Известные модели управления запасами редко точно описывают реальную систему. Поэтому решения, получаемые на основе моделей этого класса, следует рассматривать скорее как принципиальные выводы, а не конкретные рекомендации. В ряде сложных случаев приходится прибегать к методам динамического программирования и даже имитационного моделирования системы, чтобы получить достаточно надежное решение.

### 2.5.5. Примеры решения задач управления запасами

**Пример 1.** Детерминированная статическая модель без дефицита

На складе комплектующих хранится определенное количество микросхем. Ежедневная потребность сборочного участка в микросхемах составляет в среднем 135 штук. Затраты на закуп партии микросхем постоянны и составляют 2600 рублей. Затраты на хранение микросхем составляют 0,02 рубля за единицу. Необходимо определить оптимальный размер закупаемой партии микросхем, оптимальную продолжительность цикла поставок и определить минимум общих ожидаемых годовых затрат.

Решение:

Оптимальный размер партии закупа определяется по формуле (2.5.2). Подставляя в нее исходные данные, получим значение оптимального размера партии микросхем:

$$q^* = \sqrt{\frac{2 * 2600 * 135}{0,02}} = 5925 \text{шт.}$$

Оптимальная продолжительность цикла поставок определяется по формуле (5.2.4). Значение продолжительности цикла поставок для нашей задачи:

$$t_s^* = \frac{q^*}{\beta} = \frac{5925}{135} = 44 \text{ дня.}$$

Ожидаемые годовые затраты рассчитываются по формуле (2.5.3). Для нашей задачи:  $c^* = 365 * \sqrt{2} * 2600 * 0,02 * 135 = 43249$  руб.

**Пример 2.** Детерминированная статическая модель с дефицитом

Условия задачи, как и в первом случае, только допускается дефицит микросхем. При этом возникнут затраты (в виде штрафов), связанные с отсутствием микросхем при сборке изделий, которые по величине равны 0,06 руб. на единицу товара в единицу времени. Требуется также определить оптимальный размер закупаемой партии микросхем, оптимальную продолжительность цикла поставок и определить минимум общих ожидаемых годовых затрат, а также максимальный уровень заказа.

Решение:

Оптимальный размер партии закупа определяется по формуле (2.5.8). Подставляя исходные данные, получим значение оптимального размера партии микросхем:

$$q^* = \sqrt{\frac{2 * 2600 * 135}{0,02}} * \sqrt{\frac{0,02 + 0,06}{0,06}} = 6842 \text{ шт.}$$

Оптимальная продолжительность цикла поставок определяется по формуле (2.5.10). Значение продолжительно цикла поставок для нашей задачи:

$$t_s^* = \frac{q^*}{\beta} = \frac{6842}{135} = 51 \text{ день}$$

Ожидаемые годовые затраты рассчитываются по формуле (2.5.9). Для нашей задачи:

$$c^* = 365 * \sqrt{2} * 2600 * 0,02 * 135 * \sqrt{\frac{0,06}{0,02 + 0,06}} = 37455 \text{ руб.}$$

Максимальный уровень запаса  $S^*$  определяется по формуле (2.5.7). Для нашего случая:

$$s^* = 6842 * \frac{0,06}{0,02 + 0,06} = 5132 \text{ штуки}$$

**Пример 3. Вероятностная модель**

Задача: ежедневный спрос сборочного цеха на галогеновые лампы составлял 0, 50, 100, 150, 200, 250, более 250 штук. Частота указанного спроса в течение года приведена в таблице 2.5.3. Необходимо определить оптимальное количество хранения ламп на складе, если

известно, что затраты на приобретение ламп составляют 1150 руб., а затраты (штрафы), связанные с дефицитом ламп составляют 950 рублей.

Таблица 2.5.3

Спрос	0	50	100	150	200	250	Более 250
Частота	3	54	55	97	32	4	5
Доля	0,012	0,216	0,22	0,388	0,128	0,016	0,02
Функция распределения F	0,012	0,228	0,448	0,836	0,964	0,98	1

Решение: Оптимальное значение находится из условия (2.5.12).

Подставляя значения  $C_2=1150$  и  $C_3=950$  получим следующее выражение:

$$F(S^* - 50) \leq 0,452 \leq F(S^*)$$

Из этого условия видно, что  $S^* = 150$  штук.

### Вопросы для самопроверки

1. Постановка задачи управления запасами.
2. Основные положения задач управления запасами.
3. Какие виды издержек учитываются в задачах управления запасами.
4. Основные модели управления запасами.
5. Формула Уилсона.
6. Геометрическая иллюстрация движения запасов для основных моделей управления запасами.
7. Принципы построения целевых функций в задачах управления запасами.
8. Теоретические основы применения математических методов в логистике.
9. Формулировка и экономическая интерпретация классической задачи управления запасами.
10. Методика исследования классической задачи управления запасами.
11. Математические методы оптимизации стратегии пополнения запасов.
12. Математические методы регулирования товарных запасов в системах с фиксированным размером заказа.
13. Применение математических методов для регулирования товарных запасов в системах с фиксированной периодичностью заказа.
14. Оптимизация размеров заказа для создания товарных запасов.
15. Точка заказа. Понятие, геометрическая иллюстрация.

## ТЕМА 2.6. ЗАДАЧИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

### 2.6.1. Общие понятия теории очередей

Ожидание того или иного вида обслуживания является частью нашей повседневной жизни. Мы ожидаем, чтобы пообедать в ресторане, мы стоим в очереди к кассам в магазинах и выстраиваемся в очередь в почтовых отделениях. Очередь возникает практически во всех присутственных местах: налоговых инспекциях, паспортных столах, страховых компаниях и пр. Феномен ожидания характерен не только для людей: работы, поставленные в очередь для выполнения; группа пассажирских самолетов, ожидающих разрешения на посадку в аэропорту; автомобили, движение которых приостановлено сигналом светофора на пути их следования, грузовые суда, ожидающие погрузки/разгрузки в порту, и т.п.

Изучение очередей в системах массового обслуживания (СМО) позволяет определить критерии функционирования обслуживающей системы, среди которых наиболее значимыми являются среднее время ожидания в очереди и средняя длина очереди. Эта информация используется затем для выбора надлежащего уровня обслуживания, что продемонстрировано в следующем примере.

**Пример 2.6.1.** Физические лица, сдающие декларацию о доходах, жалуются на медленное обслуживание. В настоящее время в данном подразделении работают три налоговых инспектора. В результате расчетов, формулы для которых мы рассмотрим ниже, обнаружена следующая зависимость между числом инспекторов и временем ожидания обслуживания.

Число инспекторов	1	2	3	4	5	6	7
Среднее время ожидания (минуты)	80.2	50.3	34.9	24.8	14.9	12.9	9.4

Приведенные данные свидетельствуют о том, что при работающих в настоящее время трех инспекторах среднее время ожидания обслуживания примерно равно 35 минут. По мнению посетителей, приемлемо было бы 15 минут ожидания. Как следует из этих же данных, среднее время ожидания становится меньше 15 минут, если число инспекторов больше или равно пяти.

Результаты исследования системы обслуживания также можно использовать для оптимизации модели со стоимостными характеристиками, в которой минимизируется сумма затрат, связанных с предоставлением услуг, и потерь, обусловленных задержками в их предоставлении. На рис. 2.6.1 изображена типичная стоимостная модель системы обслуживания, где затраты на обслуживание возрастают с ростом его уровня. В то же время потери, обусловленные задержками в предоставлении услуг, уменьшаются с возрастанием уровня обслуживания.



Рис. 2.6.1

Главной проблемой, связанной с применением стоимостных моделей, является трудность оценки потерь в единицу времени, обусловленных задержками в предоставлении услуг.

Задачи массового обслуживания возникают в том случае, когда **заявки на обслуживание** (или **требования**) не могут быть выполнены в силу занятости **обслуживающего персонала (оборудования)** или сама **обслуживающая система** оказывается бездействующей в силу отсутствия заявок. При моделировании данных задач используются фундаментальные понятия теории вероятности, т.к. случайными оказываются поток требований или длительность времени обслуживания, или и то и другое. При решении этих задач приходится определять либо оптимальное число обслуживающих каналов, либо оптимальную скорость потока (или находить моменты поступления заявок).

Класс моделей, пригодных для решения подобных задач, называют еще **теорией очередей**.

Эта теория представляет особый раздел теории случайных процессов и использует, в основном, аппарат теории вероятностей. Первые публикации в этой области относятся к 20-м гг. XX в. и принадлежат датчанину А. Эрлангу, занимавшемуся исследованиями функционирования телефонных станций – типичных СМО, где случайны моменты вызова, факт занятости абонента или всех каналов, продолжительность разговора. В дальнейшем теория очередей нашла развитие в работах К.Пальма, Ф.Поллачека, А.Я. Хинчина, Б.В. Гнеденко, А. Кофмана, Р. Крюона, Т. Саати и других отечественных и зарубежных математиков.

При решении задач, связанных с очередями, возможны две ситуации:

- а) число заказов слишком велико; имеет место *большое время ожидания (недостаточный объем обслуживающего оборудования)*;
- б) поступает недостаточное число заказов; имеет место *простой оборудования (избыток оборудования)*.

Необходимо найти оптимальное соотношение между потерями, вызванными простоем оборудования, и потерями из-за ожидания.

В качестве основных элементов СМО следует выделить входной поток заявок, очередь на обслуживание, систему (механизм) обслуживания и выходящий поток заявок. В роли заявок (требований, вызовов) могут выступать покупатели в магазине, телефонные вызовы, поезда при подходе к железнодорожному узлу, вагоны под разгрузкой, автомашины на станции техобслуживания, самолеты в ожидании разрешения на взлет, штабель бревен при погрузке на автотранспорт. Роль обслуживающих приборов (каналов, линий) играют продавцы или кассиры в магазине, таможенники, пожарные машины, взлетно-посадочные полосы, экзаменаторы, ремонтные бригады.

По характеру случайного процесса, происходящего в СМО, различают системы марковские и немарковские.

Случайный процесс называется *марковским*, если для любого момента времени  $t$  вероятностные характеристики процесса в будущем зависят только от его состояния в данный момент  $t$  и не зависят от того, когда и как система пришла в это состояние. Рассмотренные ниже модели относятся к марковским системам.

В случае немарковских процессов задачи исследования СМО значительно усложняются и требуют применения статистического моделирования, численных методов с использованием ЭВМ.

### 2.6.2. Одноканальные системы массового обслуживания

Найдем сначала среднюю длину очереди и вероятность появления очереди заданной длины *на единственной станции* обслуживания. Предположим, что скорость поступления и обслуживания случайны и не зависят от *неограниченной длины очереди*.

#### Модель 1

Обозначим  $P_n$  – вероятность образования очереди из  $n$  заказов (включая и находящийся в обслуживании) в произвольный момент времени,  $\lambda$  – средняя скорость появления заказов,  $\mu$  – средняя скорость обслуживания одного заказа.

Вероятность  $P_n$  имеет четкий смысл: она показывает среднее относительное время наличия очереди длиной  $n$  при функционировании системы в стационарном режиме. Например, если  $P_0 = 1/2$ , то это означает, что в среднем половину рабочего времени очереди нет (оборудование простаивает). Справедливы следующие формулы:

$$P_n = \eta^n (1 - \eta). \quad (2.6.1)$$

Величина  $\eta = \lambda/\mu$  называется *интенсивностью потока заявок* или *интенсивностью нагрузки станции*. Она выражает среднее число заявок, приходящих за среднее время обслуживания одной заявки. Найдем  $n$  – *среднее число заявок, находящихся в системе*

$$n \equiv \lambda / (\mu - \lambda). \quad (2.6.2)$$

Для  $\bar{t}_w$  – среднее время ожидания обслуживания, справедливо

$$\bar{t}_w = 1/(\mu - \lambda) - 1/\mu. \quad (2.6.3)$$

Для  $\bar{n}_w$  – средняя длина очереди

$$\bar{n}_w = \lambda \bar{t}_w. \quad (2.6.4)$$

**Пример 2.6.2.** Пусть заказы на обслуживание поступают со средней интенсивностью  $\lambda = 5$  заявок в час. Продолжительность выполнения одной заявки в среднем равна 10 мин., т.е.  $\mu = 60/10 = 6$  з/ч. Поскольку  $\eta = \lambda/\mu = 5/6 < 1$ , система может функционировать в стационарном режиме. Найдем среднее время ожидания обслуживания  $\bar{t}_w = 1/(\mu - \lambda) - 1/\mu = 1/(6 - 5) - 1/6 = 5/6$  (50 мин), тогда среднее число клиентов, ожидающих обслуживания, равно  $\bar{n}_w = \lambda \bar{t}_w = 25/6 = 4.17 \approx 4$ . Для «разумного» обеспечения местами прибывающих клиентов зададимся целью обеспечить одновременно сидячими местами, например, 80% клиентов. Это эквивалентно выполнению условия

$$P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_w \geq 0.8,$$

где  $w$  – подлежащее определению число мест. Используя (2.6.1)

$$(1 - \eta) + \eta(1 - \eta) + \dots + \eta^w(1 - \eta) \geq 0.8.$$

Учитывая, что

$$(1 - \eta) + \eta(1 - \eta) + \dots + \eta^w(1 - \eta) = (1 - \eta)(1 + \eta + \dots + \eta^w) = 1 - \eta^{w+1},$$

получаем  $\eta^{w+1} \leq 0.2$  и окончательно  $w \geq \ln(0.2)/\ln(5/6) - 1 = 7.8 \approx 8$ .

Таким образом, для одновременного размещения, по крайней мере, 80% прибывающих клиентов минимальное число сидячих мест должно быть в два раза больше среднего числа ожидающих обслуживания клиентов.

Важной характеристикой является также доля времени, в течение которого станция обслуживания простаивает. Вероятность такого события

$$P_0 = 1 - \eta \approx 0.17.$$

Вероятности того, что на станции обслуживается ровно один клиент (или два – один обслуживается, второй ждет) равны соответственно:

$$P_1 = \eta(1 - \eta) \approx 0.139,$$

$$P_2 = \eta^2(1 - \eta) \approx 0.116.$$

## Модель 2

Рассмотрим случай *ограниченной очереди*, когда при наличии в системе  $N$  требований ни одна из дополнительных заявок на обслуживание не принимается либо сам клиент отказывается присоединиться к очереди из-за отсутствия места в блоке ожидания. Формулы для параметров такой системы массового обслуживания:

$$\begin{aligned} P_n &= \eta^n(1 - \eta)/(1 - \eta^{N+1}), & n \leq N \\ P_n &= 0, & n > N. \end{aligned} \quad (2.6.5)$$

Следует отметить, что в этой модели параметр  $\eta = \lambda/\mu$  не обязательно должен быть меньше единицы, поскольку число допускаемых в систему требований ограничено, и для  $\eta = 1$   $P_n = 1/(N+1)$ .

Выражение для *среднего числа находящихся в системе заявок* принимает следующий вид

$$\bar{n} = \begin{cases} \eta(1 - (N+1)\eta^N + N\eta^{N+1}) / (1 - \eta) / (1 - \eta^{N+1}), & \text{для } \eta \neq 1, \\ N/2, & \text{для } \eta = 1. \end{cases} \quad (2.6.6)$$

Поскольку вероятность того, что заказ не имеет возможности попасть в очередь, равняется  $P_N$ , доля заказов, поступающих в систему, равняется  $1 - P_N$  (*относительная пропускная способность системы*). *Абсолютная пропускная способность* (среднее число заявок, обслуживаемых в единицу времени) определяется величиной  $A = \lambda(1 - P_N)$ .

Отсюда характеристики системы имеют вид:

Для  $\bar{n}_w$  – *среднее число заказов, ожидающих обслуживания*:

$$\bar{n}_w = \bar{n} - \lambda(1 - P_N) / \mu, \quad (2.6.7)$$

для  $\bar{t}_w$  – *среднее время ожидания обслуживания*:

$$\bar{t}_w = \bar{n}_w / \lambda / (1 - P_N). \quad (2.6.8)$$

*Пример 2.6.3.* Пусть в условиях примера 2.6.2 станция располагает пятью местами для ожидающих клиентов.

В данном примере  $N = 5 + 1 = 6$ ,  $\eta = 5/6$ , а

$$P_N = (5/6)^6 (1 - 5/6) / (1 - (5/6)^7) = 0.0774, \quad N = 6.$$

Отсюда следует, что частота случаев, когда клиент не попадает на станцию равняется  $\lambda P_N = 5 \cdot 0.0774 = 0.387$  заявки в час, т.е. при 8-часовом режиме работы станция теряет за день  $8 \cdot 0,387 = 3$  клиента.

Относительная пропускная способность системы будет  $1 - 0.0774 = 0.9226$ , абсолютная пропускная способность  $A = 5 \cdot 0.9226 = 4.613$ . Применяя (2.6.6) – (2.6.8), получаем

$$\bar{n} = (5/6)(1 - 7(5/6)^6 + 6(5/6)^7) / (1 - 5/6) / (1 - (5/6)^7) = 2.29,$$

$$\bar{n}_w = 2.29 - 5(1 - 0.0774) / 6 = 1.52,$$

$$\bar{t}_w = 1.52 / 5 / (1 - 0.0774) = 0.33 \text{ часа (20 мин.)}$$

Таким образом, при введении ограничения на количество мест для ожидания ( $N=6$ ), среднее время ожидания обслуживания сократилось на полчаса. Это было достигнуто за счет «потери» в среднем 3 клиента в день из-за недостаточности мест для ожидания. Вычислим вероятность того, что в системе обслуживаются 0, 1 или 2 клиента:

$$P_0 = (1 - 5/6) / (1 - (5/6)^7) = 0.231,$$

$$P_1 = (5/6)(1 - 5/6) / (1 - (5/6)^7) = 0.193,$$

$$P_2 = (5/6)^2 (1 - 5/6) / (1 - (5/6)^7) = 0.160.$$

### 2.6.3. Многоканальные системы массового обслуживания

#### Модель 3

Пусть параллельно могут обслуживаться не более  $s$  клиентов. Такие модели называются *многоканальными* ( $s$  – число каналов обслуживания). Здесь  $\lambda_n = \lambda$  ( $n \geq 0$ ),  $\mu_n = n\mu$  при  $n \leq s$ ,  $\mu_n = s\mu$  при  $n \geq s$ . Рассмотрим случай *неограниченной длины очереди*.

Для данной модели расчетные формулы (Эрланга) имеют вид:

$$P_n = P_0(\lambda/\mu)^n / n! \quad (n \leq s), \quad (2.6.9)$$

$$P_n = P_0(\lambda/\mu)^n / s!s^{n-s} \quad (n \geq s), \quad (2.6.10)$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!(1 - \frac{\lambda}{\mu s})}}. \quad (2.6.11)$$

Для  $\bar{n}_w$  – *среднее число клиентов, ожидающих обслуживания*:

$$\bar{n}_w = P_0(\lambda/\mu)^{s+1} / (s-1)!(s-\lambda/\mu)^2, \quad (2.6.12)$$

для общего числа клиентов, находящихся в системе, имеем

$$n = \bar{n}_w + \lambda/\mu, \quad (2.6.13)$$

для  $\bar{t}_w$  – *среднее время ожидания обслуживания*:

$$\bar{t}_w = \bar{n}_w / \lambda. \quad (2.6.14)$$

Вероятность *обязательного пребывания в очереди* равна вероятности занятости всех каналов обслуживания. Обозначим ее через  $W$ . Тогда

$$W = P_0(\lambda/\mu)^s / s!. \quad (2.6.15)$$

Известный интерес представляет вероятность того, что *суммарное время обслуживания и его ожидания превзойдет заданную величину  $t$* . Обозначим эту вероятность через  $P(>t)$ .

$$P(>t) = e^{-\mu t} (1 + (W/s)(1 - e^{-\mu s t(1 - \lambda/\mu s - 1/s)}) / (1 - \lambda/\mu s - 1/s)). \quad (2.6.16)$$

Вычисления в соответствии с данной моделью могут оказаться весьма громоздкими, тогда используют приближенные методы. Например, при  $\lambda/\mu \ll 1$  можно принять  $P_0 \approx 1 - \lambda/\mu$ ,  $\bar{n}_w \approx (\lambda/\mu)^{s+1} / s^2$ , тогда как для значений  $\lambda/\mu$ , близких к 1,

$$P_0 \approx (s - \lambda/\mu)(s - 1)! / s^s \text{ и } \bar{n}_w \approx (\lambda/\mu) / (s - \lambda/\mu).$$

**Пример 2.6.4.** Пусть на нашей станции 3 канала обслуживания (исполнителя), а мест для ожидания неограниченное число. Пусть, как и прежде  $\lambda = 5$  и  $\mu = 6$ . Имеем  $\lambda/\mu = 0.833$ ,  $s = 3$  и

$$P_0 = 1 / (0.833^0 / 0! + 0.833^1 / 1! + 0.833^2 / 2! + 0.833^3 / (3!(1 - 0.833/3))) = 0.432,$$

$$\bar{n}_w = 0.432 \cdot 0.833^4 / 2! / (3 - 0.833)^2 = 0.022,$$

$$\bar{t}_w = 0.022 / 5 = 0.0044 \text{ часа. (16 сек.)}$$

Таким образом, при данных условиях 43.2% времени станция простаивает, среднее время ожидания обслуживания составляет 16сек. С точки зрения клиента отлично, но простой оборудования (исполнителей) влетает в копеечку. Кроме того, имеем:

$$P_1 = 0.40, P_2 = 0.15, P_3 = 0.04.$$

Вычислим параметры системы при 2 исполнителях.

$$P_0 = 1 / (0.833^0 / 0! + 0.833^1 / 1! + 0.833^2 / (2! (1 - 0.833/2))) = 0.412,$$

$$\bar{n}_w = 0.412 \cdot 0.833^3 / 1! / (2 - 0.833)^2 = 0.17,$$

$$\bar{t}_w = 0.17 / 5 = 0.034 \text{ часа. (2 мин.)}$$

Простой составляет 41.2% времени, среднее время ожидания 2 мин.

Сравним с результатами примера 2.6.2, где при наличии только одного исполнителя простой составлял 17%, а среднее время ожидания 50 мин. В силу малого времени ожидания параметры  $W$  и  $P(>t)$  в данном примере интереса не представляют.  $P_1 = 0.34, P_2 = 0.14, P_3 = 0.06$ .

#### Модель 4

Рассмотрим теперь модель, которая отличается от предыдущей только тем, что число мест для ожидания обслуживания ограничено величиной  $k$ . Здесь  $\lambda_n = \lambda$  при  $0 \leq n < k+s$  и  $\lambda_n = 0$  при  $n \geq k+s$ ;  $\mu_n = n\mu$  при  $n \leq s$ ,  $\mu_n = s\mu$  при  $s \leq n \leq s+k$ .

Формулы для характеристик модели имеют вид:

$$P_n = P_0 (\lambda/\mu)^n / n! \quad (n \leq s), \quad (2.6.17)$$

$$P_n = P_0 (\lambda/\mu)^n / s! / s^{n-s} \quad (s \leq n \leq s+k), \quad (2.6.18)$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s (1 - (\frac{\lambda}{\mu})^{k+1})}{\mu s} + \frac{(\lambda/\mu)^s (1 - (\frac{\lambda}{\mu})^{k+1})}{s! (1 - \frac{\lambda}{\mu s})}}, \quad \lambda/\mu \neq s, \quad (2.6.19)$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s (k+1)}{s!}}, \quad \lambda/\mu = s, \quad (2.6.20)$$

Для  $\bar{n}_w$  – среднее число клиентов, ожидающих обслуживания:

$$\bar{n}_w = P_0 (\lambda/\mu)^{s+1} (1 - (\lambda/\mu s)^k - k (\lambda/\mu s)^k (1 - \lambda/\mu s)) / (s-1)! / (s - \lambda/\mu)^2, \quad \lambda/\mu \neq s, \quad (2.6.21)$$

$$\bar{n}_w = P_0 (\lambda/\mu)^s k (k+1) / (2s!), \quad \lambda/\mu = s, \quad (2.6.22)$$

для  $\bar{t}_w$  – среднее время ожидания обслуживания:

$$\bar{t}_w = \bar{n}_w / \lambda / (1 - P_{k+s}). \quad (2.6.23)$$

*Пример 2.6.5.* Пусть в дополнение к последнему примеру наша станция располагает двумя местами для ожидания обслуживания ( $k=2$  и  $s=2$ ). Тогда получим:

$$P_0 = 1 / (0.833^0 / 0! + 0.833 / 1! + 0.833^2 (1 - (0.833/2)^{2+1}) / 2! / (1 - 0.833/2)) = 0.423,$$

$$\bar{n}_w = 0.423 \cdot 0.833^3 (1 - (0.833/2)^2 - 2(0.833/2)^2 (1 - 0.833/2)) / 1! / (2 - 0.833)^2 = 0.25,$$

и  $\bar{t}_w = 0.25 / 5 / (1 - P_{2+2}) = 0.25 / 5 / (1 - 0.423 \cdot 0.833^4 / 2! / 2^2) = 0.05$  час.

Для двух каналов обслуживания входной поток заказов очень слабый, изменим его, пусть  $\lambda = 12$ , тогда  $\lambda / \mu = 2 = s$  и мы имеем

$$P_0 = 1 / (2^0 / 0! + 2 / 1! + 2^2 (2+1) / 2!) = 0.111,$$

$$\bar{n}_w = 0.111 \cdot 2^2 \cdot 2^3 / (2 \cdot 2!) = 0.67,$$

$$\bar{t}_w = 0.67 / 12 / (1 - P_{2+2}) = 0.67 / 12 / (1 - 0.111 \cdot 2^4 / 2! / 2^2) = 0.07$$
 ч.

При таком входном потоке простой оборудования составляет 11.1%, а среднее время ожидания обслуживания  $0.07 \cdot 60 = 4.3$  мин.

Рассмотрим более крупный пример, на котором нагляднее иллюстрируются формулы моделей 3 и 4.

*Пример 2.6.6.*

Вариант 1. Имеем станцию с 4 каналами обслуживания и с неограниченным количеством мест для ожидания. Пусть  $\lambda = 20$  заявок в час, время обслуживания одной заявки 11.5 мин. ( $\mu = 60 / 11.5 = 5.217$ ), тогда  $\lambda / \mu = 20 / 5.217 = 3.83$  и  $s = 4$ . Используем (2.6.11):

$$P_0 = 1 / (3.83^0 / 0! + 3.83 / 1! + 3.83^2 / 2! + 3.83^3 / 3! + 3.83^4 / 4! / (1 - 3.83/4)) = 0.0042.$$

Из (2.6.12)–(2.6.14) получаем *среднее время ожидания*:

$$\bar{t}_w = 0.0042 \cdot 3.83^5 / 3! / (4 - 3.83)^2 / 20 = 1$$
 час.

*Вероятность обязательного пребывания в очереди* (2.6.15):

$$W = 0.0042 \cdot 3.83^4 / 4! = 0.886.$$

Найдем вероятность того, что суммарное время обслуживания и ожидания превзойдет величину  $t = 0.5$  (30 мин.). Применим (2.6.16):

$$P(>0.5) = e^{-5.217/2} (1 + 0.886/4) (1 - e^{-5.217 \cdot 4/2(1 - 3.83/4 - 1/4)}) / (1 - 3.83/4 - 1/4) = 0.7.$$

Таким образом, 88.6% клиентов обязательно проходят через очередь, причем 70% находятся в ней более получаса (правда, включая время обслуживания).

Вариант 2. Добавим к варианту 1 ограничение на количество мест для ожидания. Пусть  $k = 16$ , тогда из (2.6.19) находим сначала

$$P_0 = 1 / (1 + 3.83 + 3.83^2 / 2! + 3.83^3 / 3! + 3.83^4 (1 - (3.83/4)^{17}) / 4! / (1 - 3.83/4)) = 0.00759$$

и, следовательно, из (2.6.21) получаем

$$\bar{n}_w = 0.00759 \cdot 3.83^5 (1 - (3.83/4)^{16} - 16(3.83/4)^{16} (1 - 3.83/4)) / 3! / (4 - 3.83)^2 = 5.82.$$

Поскольку  $P_{20} = 3.83^{20} \cdot 0.00759 / 4! / 4^{16} = 0.03397$ , используя (2.6.23), имеем для среднего времени ожидания обслуживания:

$$\bar{t}_w = 5.82 / 20 / (1 - 0.03397) = 0.301$$
 часа. (18 мин.)

Сравнивая варианты 1 и 2, видим, что при ограничении мест для ожидания, продолжительность ожидания сокращается более чем в три раза,

причем это достигается ценой потери около 3.4% потенциальных клиентов ( $P_{20}=0.03397$ ).

#### 2.6.4. Прикладные аспекты теории массового обслуживания

Рассмотренные модели дают методику определения средней длины очереди и среднего времени ожидания для случаев, когда скорости поступления заказов и их обслуживания являются случайными величинами с известными нам законами распределения (в основном, пуассоновским и экспоненциальным). Возможно построение моделей и с другими распределениями вероятностей. Анализ этих моделей гораздо сложнее и его результаты не позволяют получить такой большой объем полезной информации, как в случае моделей пуассоновского типа.

Если издержки, связанные с пребыванием в очереди и обслуживанием, определены, то можно установить и оптимальное отношение между ними. Оптимальный уровень обслуживания выбирается таким образом, чтобы значение суммы прибыли (качества обслуживания), получаемой за счет предоставления услуг, и потерями прибыли (качества обслуживания), обусловленными задержками в предоставлении услуг, было минимальным. Труднее всего количественно определить «цену» ожидания, т.к. связанная с этим потеря потенциальных клиентов не имеет однозначного денежного выражения (хотя оценка простоев оборудования не вызывает серьезных трудностей). Проиллюстрируем прикладные возможности модельного обеспечения задач принятия решений в сфере обслуживания клиентов, рассмотрев два типа стоимостных моделей. Модели первого типа ориентированы на определение *оптимальной средней скорости обслуживания* при одноканальной системе массового обслуживания, модели второго типа направлены на определение *оптимального числа обслуживающих каналов* в случае многоканальной системы.

Для определения оптимального значения  $\mu$  построим стоимостную модель на основе одноканальных моделей 1, 2.

Пусть  $c_1$  – затраты на обслуживание одного заказа, отнесенные к единице времени,  $c_2$  – обусловленные вынужденным ожиданием потери в единицу времени в расчете на один заказ, тогда  $C(\mu) = c_1\mu + c_2n$  – суммарные затраты в единицу времени, минимизация которых даст нам оптимальное значение  $\mu^*$ .

Например, для модели 1, применяя (2.6.2), имеем

$$C(\mu) = c_1\mu + c_2\lambda/(\mu - \lambda),$$

откуда, приравнивая к нулю первую производную, получаем

$$\mu^* = \lambda + \sqrt{c_2\lambda/c_1}.$$

В случае модели 2 величина  $N$  рассматривается тоже как переменная, оптимальное значение которой (вместе с  $\mu$ ) определяется путем минимизации  $C(\mu, N) = c_1\mu + c_2n + c_3N + c_4\lambda P_N$ , где  $c_3$  – затраты на оборудование одного места в блоке ожидания,  $c_4$  – потери, связанные с потерей потенци-

ального клиента (приведены к единице времени). Подставляя (2.6.5)–(2.6.7), получим довольно сложное уравнение, для решения которого необходимо прибегать к соответствующим численным методам.

Для определения оптимального числа обслуживающих приборов (каналов) суммарный стоимостной показатель, отнесенный к единице времени, задается формулой

$$C(s) = c_1 s + c_2 n(s),$$

где  $c_1$  – отнесенные к единице времени затраты на функционирование одного обслуживающего канала,  $c_2$  – как и выше, затраты, связанные с ожиданием. Тогда оптимальное значение  $s^*$  находится из условия

$$\bar{n}(s^*) - \bar{n}(s^*+1) \leq c_1/c_2 \leq \bar{n}(s^*-1) - \bar{n}(s^*).$$

*Пример 2.6.7.* Пусть заказы поступают на обслуживание со средним числом  $\lambda=17.5$  заявок в час. Каждое оборудованное обслуживающее место способно удовлетворить в среднем  $\mu=10$  заявок в час. Затраты, связанные с добавлением одного обслуживающего места, оцениваются в  $c_1=6$  руб. в час. Пусть потери из-за ожидания составляют  $c_2=30$  руб. в час. Вычислим по формулам (2.6.11) и (2.6.13)  $P_0$  и  $n$  для разных значений  $s$  и результаты поместим в таблицу 2.6.1.

Таблица 2.6.1

s	$\bar{P}_0$	$\bar{n}$	$\bar{n}(s^*-1) - \bar{n}(s^*)$
1	0	$\infty$	–
2	0.067	0.745	$\infty$
3	0.156	0.468	5.28
4	0.170	0.092	0.376
5	0.173	0.019	0.073
6	0.174	0.004	0.015

Следует обратить внимание на то, что  $\bar{n}(1)=\infty$ , так как  $\lambda > \mu$ .

Поскольку  $c_1/c_2 = 6/30 = 0.2$ , имеем

$$\bar{n}(4) - \bar{n}(5) = 0.073 \leq 0.2 \leq 0.375 = \bar{n}(3) - \bar{n}(4).$$

Следовательно, оптимальное количество моечных мест  $s^*=4$ .

Можно учесть еще потери, связанные с простоями оборудования, для этого необходимо по формуле (2.6.9) найти вероятности того, что обслуживаются ровно  $n$  ( $n=0,1,2,\dots < s$ ) автомашин.

Также можно учесть ограничение на вместимость блока ожидания (модель 4), но получаемые стоимостные модели весьма сложны и требуют для своего решения специальных численных методов. При возникновении подобных трудностей, а также в случае невозможности выразить в аналитическом виде характеристики системы массового обслуживания, используют *метод статистического моделирования (метод Монте–Карло)*.

Согласно методу Монте–Карло перебирают (с помощью ЭВМ) все возможные состояния системы с различной интенсивностью и разными законами распределения вероятностей входного и выходного потоков. В ре-

зультате многократного искусственного воссоздания работы системы рассчитывают характеристики обслуживания, как если бы они были получены при наблюдении над реальным потоком клиентов. Для сложных систем обслуживания метод статистического моделирования оказывается проще аналитического.

### 2.6.5. Примеры задач массового обслуживания

#### **Пример 1. Одноканальная система обслуживания с неограниченной очередью**

В компанию приходят клиенты за консультацией о продаваемой продукции с интенсивностью 8 посещений в час. Работник компании тратит на обслуживание каждого клиента в среднем 6 минут. Необходимо определить вероятность нахождения в приемной комнате 1, 2 и 3-х клиентов, среднее количество клиентов за час, среднее количество ожидающих консультации клиентов, среднее время ожидания.

Решение: Исходные данные для нашей задачи следующие:

$$\lambda = 8; \quad \mu = 10 \text{ (60 мин./6 мин.)}; \quad \eta = \lambda/\mu = 0,8.$$

Вероятность нахождения в системе обслуживания  $n$  клиентов определяется по формуле (2.6.1).

Среднее количество клиентов за час определяется по формуле (2.6.2).

Среднее количество ожидающих клиентов определяется по формуле (2.6.4).

Среднее время ожидания своей очереди определяется по формуле (2.6.3).

Подставляя исходные данные в формулы, получим:

$$\text{вероятность отсутствия клиентов } P_0 = 0,2;$$

$$\text{вероятность нахождения в приемной 1-го клиента } P_1 = 0,16;$$

$$\text{вероятность нахождения в приемной 2-х клиентов } P_2 = 0,13;$$

$$\text{вероятность нахождения в приемной 3-х клиентов } P_3 = 0,10;$$

среднее количество клиентов, находящихся в компании за 1 час – 4 человека.

Среднее количество ожидающих обслуживания клиентов – 3,2 человека в час.

Среднее время ожидания в очереди – 0,4 часа (24 минуты).

#### **Пример 2. Одноканальная система обслуживания с ограниченной очередью**

В условия предыдущей задачи вводим дополнительные сведения, а именно: количество мест для ожидания в приемной комнате равно 4.

Решение: Исходные данные для такой задачи следующие:

$$\lambda = 8; \quad \mu = 10; \quad \eta = 0,8; \quad K = 4; \quad N = S + K = 1 + 4 = 5.$$

Подставляя исходные данные в формулы (2.6.5) – (2.6.8) получим:

вероятность отсутствия клиентов  $P_0 = 0,27$ ;  
вероятность нахождения в приемной 1-го клиента  $P_1 = 0,22$ ;  
вероятность нахождения в приемной 2-х клиентов  $P_2 = 0,17$ ;  
вероятность нахождения в приемной 3-х клиентов  $P_3 = 0,14$ ;  
среднее количество клиентов, находящихся в компании за 1 час  $\approx 2$  человека.

Среднее количество ожидающих обслуживания клиентов – 1,13 человека в час

Среднее время ожидания в очереди – 0,15 часа (9 минут).

### **Пример 3. Многоканальная система обслуживания с неограниченной очередью**

В компанию приходят клиенты за консультацией о продаваемой продукции с интенсивностью 8 посещений в час. Два работника компании тратит на обслуживание каждого клиента в среднем 6 минут. Необходимо определить вероятность нахождения в приемной комнате 1, 2 и 3-х клиентов, среднее количество клиентов за час, среднее количество ожидающих консультации клиентов, среднее время ожидания.

Решение: Исходные данные для нашей задачи следующие:

$$\lambda = 8; \quad \mu = 10; \quad \eta = 0,8; \quad S = 2.$$

Подставляя исходные данные в формулы (2.6.9) – (2.6.14) получим:

вероятность отсутствия клиентов  $P_0 = 0,429$ ;  
вероятность нахождения в приемной 1-го клиента  $P_1 = 0,343$ ;  
вероятность нахождения в приемной 2-х клиентов  $P_2 = 0,137$ ;  
вероятность нахождения в приемной 3-х клиентов  $P_3 = 0,055$ ;  
среднее количество клиентов, находящихся в компании за 1 час – 0,95 человека.

Среднее количество ожидающих обслуживания клиентов – 0,152 человека.

Среднее время ожидания в очереди – 0,019 часа (1,14 мин.).

### **Пример 4. Многоканальная система обслуживания с ограниченной очередью**

В компанию приходят клиенты за консультацией о продаваемой продукции с интенсивностью 8 посещений в час. Два работника компании тратит на обслуживание каждого клиента в среднем 6 минут. Количество мест в приемной для клиентов равно 3. Необходимо определить вероятность нахождения в приемной комнате 1, 2 и 3-х клиентов, среднее количество клиентов за час, среднее количество ожидающих консультации клиентов, среднее время ожидания.

Решение: Исходные данные для нашей задачи следующие:

$$\lambda = 8; \quad \mu = 10; \quad \eta = 0,8; \quad S = 2; \quad K = 3; \quad N = 5.$$

Подставляя исходные данные в формулы (2.17) – (2.23) получим:

вероятность отсутствия клиентов  $P_0 = 0,431$ ;  
вероятность нахождения в приемной 1-го клиента  $P_1 = 0,345$ ;  
вероятность нахождения в приемной 2-х клиентов  $P_2 = 0,138$ ;  
вероятность нахождения в приемной 3-х клиентов  $P_3 = 0,055$ ;  
Среднее количество ожидающих обслуживания клиентов – 0,126 человека.

Среднее время ожидания в очереди – 0,0159 часа (0,95 минуты).

### **Вопросы для самопроверки**

1. Каковы виды заявок на обслуживание в коммерческой деятельности?
2. Что является каналами обслуживания в коммерческой деятельности?
3. Каковы механизмы массовости поступления заявок на обслуживание в коммерческой деятельности?
4. Какие трудности в реализации обеспечения массового обслуживания в коммерческой деятельности?
5. Зачем нужны характеристики СМО?
6. Как пользоваться характеристиками СМО с отказами в коммерческой деятельности?
7. Как применять характеристики СМО с ожиданием в коммерческой деятельности?
8. Как аргументировать построение СМО с ограничением на длину очереди в коммерческой деятельности?
9. Каким образом можно оценить свою деятельность с помощью характеристик СМО?
10. Как можно провести оценку работы вашего руководителя на основе характеристик СМО?
11. Проведите оценку работы характеристиками СМО минимаркета, книжного киоска или любого другого торгового предприятия.
12. Проведите оценку согласованности взаимодействия студентов в группе с помощью характеристик СМО в процессе выполнения фрагментов учебного процесса: выполнения курсовых работ, подготовки и сдачи зачетов, экзаменов.
13. Дайте оценку взаимодействия членов вашей семьи утром характеристиками СМО.
14. Понятие и экономическая интерпретация системы массового обслуживания.
15. Использование теории очередей в управлении потоками товаров и услуг.
16. Расчёт средней длины очереди к системе массового обслуживания.
17. Расчёт вероятности превышения пороговой длины очереди к системе массового обслуживания.
18. Расчёт среднего времени ожидания в очереди к системе массового обслуживания.

19. Необходимое условие работоспособности системы массового обслуживания, его обоснование и экономическое значение.

20. Анализ проектов расширения обслуживающих мощностей с использованием теории очередей.

21. Оптимизация обслуживающих мощностей с использованием теории очередей.

22. Формулировка и экономическая интерпретация модели системы массового обслуживания.

## ТЕМА 2.7. СОСТЯЗАТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ

### 2.7.1. Основные понятия теории игр

Решение многих экономических задач для индивидуального участника экономических отношений (производителя, потребителя, продавца, покупателя и т.п.) сводится к максимизации полезности при условии сбалансированности своего бюджета. Задачи часто выражаются альтернативно, как, например, максимизация выпуска продукции при заданных издержках или минимизация издержек при данном выпуске. Каждый индивидум старается достичь максимума своей прибыли, и на его действия не оказывают влияния действия других индивидуумов.

Однако в других экономических ситуациях возникают конфликты интересов, которые должны быть разрешены. Конфликты интересов возникают между продавцом и покупателем, между конкурирующими продавцами (производителями). Более сложные ситуации возникают, если образуются коалиции лиц, участвующих в столкновении интересов, например, в том случае, когда ставки заработной платы определяются союзами рабочих и предпринимателей. Решение таких проблем поднимает более сложные вопросы о стратегиях поведения участников, и соответствующие математические формулировки этих проблем и методы их решения составляют теорию игр.

Игра – это совокупность правил и процедур, которым подчиняются ее участники для достижения своей цели. Каждый участник (игрок) имеет множество возможных *ходов*, выбрать один из них – значит *сделать ход*. *Партия* – это последовательность ходов, сделанных в соответствии с правилами игры и приводящих ее к конечному состоянию. Во многих играх достижение цели сопровождается каким-нибудь выигрышем. Выигрыш в игре будем рассматривать в количественном выражении, причем отрицательное значение выигрыша интерпретируется как проигрыш.

*Игра с нулевой суммой* – это такая игра, в которой сумма выигрышей участников равна нулю.

*Стратегия* – это установленный игроком метод выбора решения при каждом ходе в течение игры.

Будем рассматривать *конечную игру*, то есть игру с конечным числом ходов и конечным числом стратегий.

*Платежная матрица* – это таблица, которая определяет, какие выигрыши должны быть получены игроками после завершения игры.

Рассмотрим игру двух лиц с нулевой суммой.

Обозначим игроков А и В, и пусть А имеет  $n$  вариантов хода, а В имеет  $m$  вариантов. Пусть игра заключается в том, что игроки делают по одному ходу и А выигрывает у В сумму  $a_{ij}$ , если А выбрал вариант  $i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ), а В выбрал вариант  $j$  ( $j=1,2,\dots,m$ ). Тогда платежная матрица для игрока А имеет вид:

$$\mathbf{A} = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix}$$

Если выигрыш игрока А равен проигрышу игрока В, возникает игра двух лиц с нулевой суммой. В этом случае платежную матрицу для игрока В нет необходимости рассматривать самостоятельно, так как  $\mathbf{B} = -\mathbf{A}$ .

Лучшая (*оптимальная*) стратегия игрока заключается в выборе такого варианта хода (из своих возможных), при котором будет получен максимальный выигрыш при отсутствии информации о ходе противника. Определение оптимальных стратегий для игроков составляет *решение* игры.

Игрок следует *чистой стратегии* в повторяющихся партиях, если в каждой партии он выбирает из всех альтернатив одну и ту же, использование комбинаций чистых стратегий называется *смешанной стратегией*. Для решения игры будем использовать критерий **минимакса – максимина**. Этот критерий предписывает игроку А выбирать такую стратегию (чистую или смешанную), которая максимизирует его минимальный выигрыш, причем минимум берется по всем стратегиям игрока В. Игрок В в свою очередь выбирает стратегию, которая минимизирует его максимальный проигрыш, где максимум берется по стратегиям игрока А.

Рассмотрим применение данного критерия на примере.

Игрок В

Пусть задана платежная матрица, определяющая выигрыш игрока А. Если игрок А выбирает первую стратегию, его выигрыш будет не меньше  $\min\{-2, -4\} = -4$  независимо

-2	-4
-1	3
1	2

от поведения игрока В. При выборе игроком А второй стратегии гарантированный выигрыш будет равен  $\min\{-1, 3\} = -1$ , и, наконец, если он выберет третью стратегию, гарантированный выигрыш будет равен  $\min\{1, 2\} = 1$ . Тогда игрок А, выбирая третью стратегию, максимизирует свой минимальный выигрыш. Его значение равно  $\max\{-4, -1, 1\} = 1$ . Выбранная игроком А стратегия называется **максиминной стратегией**, а со-

ответствующее ей значение выигрыша – **максиминным (нижним) значением** игры.

Игрок В хочет минимизировать свой проигрыш. Выбрав первую стратегию, он может проиграть не более чем  $\max\{-2, -1, 1\}=1$  независимо от выбора своего противника. При второй стратегии проигрыш составит не более  $\max\{-4, 3, 2\}=3$ . Игрок В выберет тогда первую стратегию, для которой проигрыш составит  $\min\{1, 3\}=1$ . Эта стратегия называется **минимаксной**, а соответствующее ей значение проигрыша игрока В – **минимаксным (верхним) значением** игры.

Если нижнее значение игры совпадает с верхним значением игры, то имеет место *ситуация равновесия*, в этом случае задача имеет решение в чистых стратегиях, в противном случае необходимо искать оптимальную смешанную стратегию.

Рассмотрим еще несколько примеров матричных игр:

1. «Орлянка». Два игрока одновременно кладут на стол по монете «орлом» или «решеткой» вверх. Если «картинки» совпадут, то выигрывает первый игрок, в противном случае второй. Если в каждой отдельной партии разыгрывается некоторая единичная ставка, то матрица данной игры примет вид:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}.$$

2. «Камень, мешок, ножницы». Это одна из древнейших тюремных игр, в которую было принято играть на пальцах.

Количество выброшенных пальцев от одного до трех соответствовало выбранному предмету, при этом камень побеждал ножницы, мешок – камень и ножницы – мешок. Если игроками выбирались одинаковые предметы, то результат партии признавался ничейным. Матрица выигрышей этой игры имеет следующий вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

3. Не заботясь о содержательном смысле игры, просто напишем некоторую, специальным образом построенную матрицу выигрышей

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 3 \\ 0 & 1 & -2 \\ 4 & 2 & 3 \\ -2 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Если в первых двух играх ситуации равновесия не существуют, так как нижнее значение игры равно -1, а верхнее значение игры равно 1, то в третьем примере

$$\max \min \{a_{ij}\} = \max \{-2, -2, 2, -2\} = 2 \text{ и } \min \max \{a_{ij}\} = \min \{4, 2, 3\} = 2,$$

т.е. существует ситуация равновесия. Следовательно, значением этой игры будет 2, а оптимальными стратегиями для первого игрока выбор третьей строки и для второго – второго столбца матрицы игры.

Отметим, что матричная игра, для которой существует ситуация равновесия, малоинтересна (и редко случается на практике), так как рациональные действия игроков в ней однозначно предопределены. Если разыгрывается несколько партий такой игры, то каждый раз исход игры будет неизменным. Если же разыгрывается несколько партий в «орлянку», то ни один из игроков не рискнет сохранять неизменной выбираемую стратегию, так как подобные действия легко «расшифровываются» противником. Возможность изменять от партии к партии свои стратегии составляют суть любой игры, делают ее исход не предсказуемым. Однако в этом случае возникает проблема определения решения игры.

### 2.7.2. Математическая модель игры

В математических обозначениях «максимин для А» выражается  $\max_i \min_j a_{ij}$ , аналогично, «минимакс для В» есть  $\min_j \max_i a_{ij}$ , причем, очевидно, имеет место  $\max_i \min_j a_{ij} \leq \min_j \max_i a_{ij}$ . В случае, когда имеет место равенство, т.е.  $\max_i \min_j a_{ij} = \min_j \max_i a_{ij} = a_{i_0 j_0}$ , соответствующие чистые стратегии ( $i_0$  для игрока А и  $j_0$  для В) будут оптимальными, а про игру говорят, что она имеет *седловую точку*. Тогда  $a_{i_0 j_0}$  является *значением игры*. Легко видеть, что игра имеет седловую точку тогда и только тогда, когда в платежной матрице имеется элемент  $a_{i_0 j_0}$ , наименьший для всех элементов своей строки  $i_0$  и наибольший для всех элементов своего столбца  $j_0$ .

При отсутствии седловой точки невозможно получить оптимальное решение, пользуясь чистыми стратегиями. В этом случае для получения решения игры будем пользоваться смешанными стратегиями, которые заключаются в применении чистых стратегий с некоторыми частотами (вероятностями). Пусть  $p_1, p_2, \dots, p_n$  и  $q_1, q_2, \dots, q_m$  – наборы вероятностей, с которыми игроки А и В соответственно выбирают свои чистые стратегии. Естественно

$$\sum_{i=1}^n p_i = \sum_{j=1}^m q_j = 1, \quad p_i, q_j \geq 0 \text{ для всех } i \text{ и } j.$$

Если игрок А выбирает свои чистые стратегии с вероятностями  $p_i$ , то его ожидаемый выигрыш должен составить

$$a_{11}p_1 + a_{21}p_2 + \dots + a_{n1}p_n,$$

при ответном выборе игроком В своей первой чистой стратегии,

$$a_{12}p_1 + a_{22}p_2 + \dots + a_{n2}p_n,$$

при ответном выборе игроком В своей второй чистой стратегии, и т.д.

$$a_{1m}p_1 + a_{2m}p_2 + \dots + a_{nm}p_n$$





$A = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -1 & 3 & -1 \\ -1 & -1 & 4 \end{vmatrix}$  Если прибавить к каждому элементу матрицы число  $K$ , то оптимальные стратегии не изменятся, а значение игры увеличится на  $K$ .

Для упрощения матрицы добавим  $K=1$ , тогда получим:

$A = \begin{vmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 5 \end{vmatrix}$  В соответствие с (2.7.2) задача принимает вид:  
 минимизировать  $Z = x_1 + x_2 + x_3$   
 при ограничениях

$$\begin{cases} 2x_1 + 0x_2 + 0x_3 \geq 1, \\ 0x_1 + 4x_2 + 0x_3 \geq 1, \\ 0x_1 + 0x_2 + 5x_3 \geq 1, \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0. \end{cases}$$

Легко заметить, что решение этой задачи:

$$x_1^* = 1/2, x_2^* = 1/4, x_3^* = 1/5.$$

Значение упрощенной игры  $1/Z^* = 1/(x_1^* + x_2^* + x_3^*) = 20/19$ , откуда (при  $K=1$ ) значение исходной игры равно  $20/19 - 1 = 1/19$ ,

$$p_1^* = x_1^*/Z^* = 10/19, p_2^* = x_2^*/Z^* = 5/19, p_3^* = x_3^*/Z^* = 4/19.$$

Таким образом, оптимальная стратегия игрока на скачках в данном примере заключается в смешанной стратегии делать ставки на всех трех лошадей в пропорции 10:5:4, при этом выигрыш игрока (игра имеет положительное значение!) будет равным  $1/19$  суммы его ставок, независимо от результата гонок. (Если цена игры отрицательна, то не следует в нее играть, так как даже при оптимальной стратегии гарантирован проигрыш, правда, минимальный).

**Пример 2.7.2.** Предлагается три варианта инвестиций в сельское хозяйство и прогноз получения доходов за год (дивиденды и повышение стоимости капитала) при различных перспективах на урожай.

Варианты инвестиций	Перспективы на урожай		
	хорошие	средние	плохие
1. АО «Сельхозтехника»	40	30	20
2. АО «Агроимпорт»	0	100	250
3. АО «Агроэкспорт»	150	50	-50

Доходы в платежной матрице приведены в процентах от вложенного капитала. Как распорядиться капиталом, чтобы получить наибольший доход? Искомые переменные  $p_1, p_2, p_3$  определяют пропорции вложений. Заметим, что элементы первой строки платежной матрицы меньше средних арифметических соответствующих элементов второй и третьей строк, и она может быть удалена (первый вариант инвестиций заведомо неэффективен по сравнению с комбинацией второго и третьего вариантов – вкладывать деньги поровну во второй и третий проект). Получаем задачу линейного программирования

минимизировать  $Z = x_2 + x_3$   
при ограничениях

$$\begin{cases} 0x_2 + 150x_3 \geq 1, \\ 100x_2 + 50x_3 \geq 1, \\ 250x_2 - 50x_3 \geq 1, \\ x_1 = 0, x_2, x_3 \geq 0. \end{cases}$$

Решая данную задачу стандартными средствами (см. 2.2) получим следующее решение

$$x_1^* = 0, x_2^* = 1/150, x_3^* = 1/150.$$

Значение игры  $1/Z^* = 1/(x_1^* + x_2^* + x_3^*) = 150/2 = 75$ , откуда

$$p_1^* = 0, p_2^* = x_2^*/Z^* = 75/150 = 1/2, p_3^* = x_3^*/Z^* = 75/150 = 1/2.$$

Таким образом, оптимальной стратегией является вложение капитала равными долями во второй и третий варианты, при этом гарантированный доход составит 75%.

### 2.7.3. Игры с природой

Антагонистические конфликты в реальной жизни встречаются очень редко за исключением искусственно созданных конфликтных ситуаций в виде спортивных и азартных игр. Однако часто бывает удобно в задачах принятия решения в условиях неопределенности наделить случайный фактор «разумом» и считать, что он активным образом противодействует достижению поставленной цели. В этом случае возникает антагонистическая игра с некоторым воображаемым противником, которого принято называть «природой». Такая постановка задачи позволяет оценить возможности достижения цели при самых неблагоприятных условиях.

Рассмотрим следующий пример. Пусть у фермера имеется  $S$  гектаров пахотных земель, на которых он может выращивать различные культуры  $K_1, K_2, \dots, K_n$ . Урожайность культур, а соответственно и доход, будут существенным образом зависеть от погодных условий в весенне-летний период.

На основе многолетних наблюдений можно классифицировать возможные для данной местности погодные условия  $P_1, P_2, \dots, P_m$  и объявить их стратегиями «природы». Определим матрицу выигрышей  $A = \{a_{ij}\}$  как ожидаемый доход с участка при посадке на нем  $i$ -ой культуры и  $j$ -ых погодных условиях.

Не исключено, что получившаяся матричная игра будет иметь решение в чистых стратегиях. Это будет означать, что для данной местности существует культура, выращивание которой дает наибольший доход. Действительно, нечто подобное в мире случается, существуют целые страны, выращивающие только рис, или хлопок, или кофе, или цитрусовые и т.п. Россия, к сожалению, почти всюду является зоной рискованного земледелия, поэтому на существование решения игры в чистых стратегиях надеяться не приходится.

Однако, согласно теореме фон. Неймана, всегда будет существовать решение в смешанных стратегиях. Пусть  $g^*$  – значение игры и  $(p_1^*, p_2^*, \dots, p_m^*)$  оптимальная смешанная стратегия фермера.

Тогда площадь, выделяемая под каждую культуру, будет соответственно равна  $S_i = S \cdot p_i$  га.

Если «природа» выберет активную (оптимальную с точки зрения игрока В) стратегию, то фермер все равно реализует значение игры. Поскольку «природа» реальным разумом не наделена и не обязательно будет противодействовать фермеру, то не исключено, что будет реализована пассивная стратегия. Естественно, в этом случае доход фермера превысит ожидаемый.

Игры с «природой» могут быть использованы также для решения задач выбора оборудования для предприятия, определения состава научно-исследовательского коллектива, выбора проектов строительства в сейсмоопасной зоне и т.п. В этих играх компоненты оптимальной смешанной стратегии задают уже не просто вероятности выбора, а, главным образом, пропорции.

В случае, когда при игре с природой необходимо выбрать одно из альтернативных решений, характеризующееся различными исходами (смешение стратегий по логическим или техническим причинам невозможно), то возникает задача **принятия решений в условиях неопределенности и риска**. Если вероятности исходов не известны, это ситуация неопределенности, при известных вероятностях исходов – ситуация риска.

Рассмотрим сначала правила принятия решений в условиях неопределенности (без использования численных значений вероятностей исходов – правила максимакса, Вальда, Сэвиджа, Лапласа).

**Пример 2.7.3.** Пусть себестоимость пирожного в нашей кондитерской составляет 7 руб., свеженькое продаем за 13 руб., а невостребованное за день сдаем на свиноферму за 3 руб. Сколько пирожных надо производить в день, если известно лишь, что спрос на них составляет от 1 до 5?

Составим *таблицу возможных доходов* (табл. 2.7.1), расположив построчно наши альтернативы (производить от 1 до 5 пирожных), а в столбцах исходы (продать от 1 до 5), имея в виду, что доход от продажи одного пирожного составляет 6 руб., а потери при не продаже составляют 4 руб.

Таблица 2.7.1

Доход (прибыль) в день

Объем производства	Возможные исходы: спрос пирожных в день					Среднее
	1	2	3	4	5	
1	<b>6</b>	6	6	6	6	6
2	2	12	12	12	12	10
3	-2	8	18	18	18	<b>12</b>
4	-6	4	14	24	24	<b>12</b>
5	-10	0	10	20	<b>30</b>	10

**Правило максима** – максимизация максимального дохода. В каждой альтернативе найдем исход с максимальной оценкой (в табл. 2.7.1 они все находятся в последнем столбце), и выбираем альтернативу, позволяющую получить самый большой доход. В нашем примере это соответствует решению производить 5 пирожных. Данный подход использует азартный карточный игрок (или пан или пропал).

**Правило максимина (Вальда)** – максимизация минимального дохода. В каждой альтернативе найдем исход с минимальной оценкой (в табл. 2.7.1 они все находятся в первом столбце), и выбираем альтернативу, позволяющую максимизировать доход в самых худших для нас исходах. В нашем примере это соответствует решению производить 1 пирожное. Это очень осторожный подход к принятию решений – стратегия крайнего пессимиста.

**Правило**, основанное на принципе неопределенности **Лапласа**. В соответствии с этим принципом предполагается, что все исходы равновероятны, поэтому выбирается альтернатива, дающая максимальный средний доход. В нашем примере этому правилу отвечают альтернативы выпускать три или четыре пирожных в день, имеющие средний доход 12 (колонка 6 табл. 2.7.1).

**Правило минимакса (Сэвиджа)** – минимизация максимально возможных потерь. Составим таблицу возможных потерь или упущенной выгоды (табл. 2.7.2). Она составляется из таблицы доходов следующим образом:

– для каждого исхода (столбца) находится максимальный доход, затем вычисляются максимально возможные потери всех альтернатив данного исхода (из максимального дохода вычитается доход соответствующей альтернативы);

– для каждой альтернативы находятся максимально возможные потери (выделены жирным цветом). Затем выбирается та альтернатива, которой соответствует минимальное значение максимальных потерь. В данном примере этому правилу подходят альтернативы выпускать три или четыре пирожных в день.

Таблица 2.7.2

Объем производства	Возможные исходы: спрос пирожных в день				
	1	2	3	4	5
1	0	6	12	18	<b>24</b>
2	4	0	6	12	<b>18</b>
3	8	4	0	6	<b>12</b>
4	<b>12</b>	8	4	0	6
5	<b>16</b>	12	8	4	0

Критерий Гурвица – компромиссный способ принятия решений.

Этот способ принятия решения представляет собой компромисс между осторожным правилом максимина (Вальда) и оптимистичным правилом максимакса. ЛПР задает уровень пессимизма  $\alpha$  (вероятность худшего исхода), тогда оптимистичному исходу дается вероятность  $1-\alpha$ , и выбирается альтернатива, дающая наибольший средневзвешенный доход при наличии только пессимистического и оптимистического исходов с заданными вероятностями.

Так, в нашем примере, худший исход – спрос на одно пирожное в день, лучший – пять пирожных. Зададим уровень пессимизма 0.4, тем самым мы предполагаем, что на каждые 4 дня худшего спроса в одно пирожное приходится 6 дней лучшего спроса в 5 пирожных. Рассчитаем средневзвешенные доходы для каждой альтернативы (табл. 2.7.3).

В данном случае максимальный средневзвешенный доход имеет решение выпускать пять пирожных в день.

Таблица 2.7.3

Критерий Гурвица

Объем производства	Доход при спросе в день		вероятность исхода		Средневзвешенный доход
	1	5	0.4	0.6	
1	6	6	2.4	+3.6	=6
2	2	12	0.8	+7.2	=8
3	-2	18	-0.8	+10.8	=10
4	-6	24	-2.4	+14.4	=12
5	-10	30	-4.0	+18.0	= <b>14</b>

**Правила принятия решений с использованием численных значений вероятностей исходов.**

Пусть теперь нам известны вероятности всех исходов.

Например, дана статистика продаж за последние 50 дней (табл. 2.7.4).

Таблица 2.7.4

Частоты (вероятности) дневного спроса на пирожные

Продано пирожных в день	1	2	3	4	5
Частота	5	10	15	15	5
Относительная частота (вероятность)	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1

**Правило максимальной вероятности – максимизация наиболее вероятных доходов.**

Наибольшая вероятность 0.3 соответствует спросу в три и четыре пирожных в день. Рассмотрим теперь доходы при каждом из этих исходов и выберем альтернативу, дающую наибольший доход (см. табл. 2.7.1). При спросе в 3 пирожных наибольший доход дает альтернатива производить 3 пирожных (доход составляет 18 руб.), при спросе в 4 пирожных наиболь-

ший доход дает альтернатива производить 4 пирожных (доход составляет 24 руб.), следовательно, по этому правилу надо производить 4 пирожных в день.

**Оптимизация математического ожидания (правило Байеса)** Выбирается решение либо с наибольшим ожидаемым доходом, либо с наименьшими возможными потерями. Использование критерия математического ожидания наиболее приемлемо в случаях многократного принятия решения в одинаковых условиях, позволяя максимизировать среднюю прибыль (или минимизировать средние убытки) при большом временном промежутке. В соответствии с *законом больших чисел* (который мы проходили в разделе 3 «Математики») при многократном принятии решения мы как раз и получим математическое ожидание (среднее значение) дохода либо потерь.

*а) Максимизация ожидаемого дохода.*

Составим таблицу ожидаемых доходов для каждой альтернативы (табл.2.7.5).

Таблица 2.7.5

Возможный доход (вероятность×доход из табл. 2.7.1)

Объем производства	Возможные исходы: спрос пирожных в день					Ожидаемый доход
	1	2	3	4	5	
1	0.6	1.2	1.8	1.8	0.6	6
2	0.2	2.4	3.6	3.6	1.2	11
3	-0.2	1.6	5.4	5.4	1.8	<b>14</b>
4	-0.6	0.8	4.2	7.2	2.4	<b>14</b>
5	-1.0	0.0	3.0	6.0	3.0	11

Максимальное значение ожидаемого дохода 14 руб. в день, следовательно, используя критерий максимизации ожидаемого дохода необходимо производить три или четыре пирожных в день.

*б) Минимизация возможных потерь.*

Составим таблицу возможных потерь для каждой альтернативы (табл.2.7.6).

Минимальные ожидаемые возможные потери равны 4.6 руб. в день, т.е. наилучшее решение – также как и в случае *а*, производить три или четыре пирожных в день.

Таблица 2.7.6

Возможные потери (вероятность×потери из табл. 2.7.2)

Объем произ-водства	Возможные потери: спрос пирожных в день					Ожидаемые возможные потери
	1	2	3	4	5	
1	0	1.2	3.6	5.4	2.4	12.6
2	0.4	0	1.8	3.6	1.8	7.6
3	0.8	0.8	0	1.8	1.2	<b>4.6</b>
4	1.2	1.6	1.2	0	0.6	<b>4.6</b>
5	1.6	2.4	2.4	1.2	0	7.6

Значения вероятностей из табл.2.7.4 основаны на статистической либо экспертной информации, которая подвержена изменениям. Исследование зависимости выбора решения от изменений значений вероятностей называется *анализом чувствительности решения*.

В альтернативном варианте (1) решение, дающее максимальный доход, не претерпело изменений, хотя средняя прибыль снизилась с 14 руб. до 12 руб. В альтернативном варианте (2) решение изменилось, наибольший средний доход 15 руб. дает альтернатива производить 4 пирожных в день. Таким образом, выбор решения оказался нечувствителен к варианту (1) изменений вероятностей, но чувствителен к варианту (2).

Таблица 2.7.7

Зависимость выбора решения от изменений значений вероятностей

Наименование показателей	Возможные решения: объем производства в день				
	1	2	3	4	5
Базовые вероятности	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1
Ожидаемый доход в день	6	11	<b>14</b>	<b>14</b>	11
Альтернативные вероятности (1)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Ожидаемый доход в день (1)	6	10	<b>12</b>	<b>12</b>	10
Альтернативные вероятности (2)	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
Ожидаемый доход в день (2)	6	11	14	<b>15</b>	14

**Пример 2.7.4.** Рассмотрим схожую с предыдущей задачу управления запасами. Пусть спрос на некоторый товар описывается следующим рядом распределения вероятностей:

Спрос	0	1	2	3	4	5
Вероятность спроса	0.1	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1
	0	5	0	5	0	0

Определить уровень запасов, при котором вероятность полного истощения запасов не превышает 0.45. Определить также уровень запасов при

условии, что средние значения дефицита и превышения запасов не должны быть больше 1 и 2 единиц соответственно.

Будем анализировать данную задачу как игру уровня запасов со спросом. Для каждого значения уровня запасов последовательно вычисляем вероятность его полного истощения. Она равна сумме вероятностей событий, когда спрос превышает данный запас. Затем вычисляем средний дефицит для каждого уровня запаса. Для уровня 0 средний дефицит равен  $1 \cdot 0.15 + 2 \cdot 0.4 + 3 \cdot 0.15 + 4 \cdot 0.1 + 5 \cdot 0.1 = 2.3$ , для уровня 1 получаем  $1 \cdot 0.4 + 2 \cdot 0.15 + 3 \cdot 0.1 + 4 \cdot 0.1 = 1.4$  и т.д. Аналогично вычисляем среднее превышение запасов, например, для уровня 0 превышения нет, для уровня 1 среднее превышение составляет  $1 \cdot 0.1 = 0.1$ , для уровня 2 получаем  $2 \cdot 0.1 + 1 \cdot 0.15 = 0.35$  и т.д. Сведем все результаты расчетов в таблицу 2.7.8.

Таблица 2.7.8

Уровень запаса Q	Вероятность полного истощения	Средний дефицит	Среднее превышение запасов
0	0.9	2.3	0
1	0.75	1.4	0.1
2	0.35	0.65	0.35
3	0.2	0.3	1.0
4	0.1	0.1	1.8
5	0	0	2.7

Из табл. 2.7.8 получаем ответы на все интересующие нас вопросы:

При  $Q \geq 2$  вероятность полного истощения запасов не превышает 0.45. При  $4 \geq Q \geq 2$  средние значения дефицита и превышения запасов не больше 1 и 2 единиц соответственно.

**Пример 2.7.5.** Введем в пример 2.7.4 условие, чтобы ожидаемый дефицит был меньше превышения хотя бы на 1.

Тогда из табл. 2.7.8 находим уровень запасов, удовлетворяющий этому условию,  $Q \geq 4$ .

#### **Стоимость достоверной информации.**

Неопределенность при принятии решений может быть уменьшена путем сбора дополнительной информации, за которую нужно платить. Максимальная сумма денег, которую стоит заплатить, и является *стоимостью достоверной информации*. Так, если бы мы в нашей кондитерской заранее знали спрос на следующий день, то готовили бы столько пирожных, сколько обеспечивают максимальный доход (см. диагональ табл.2.7.1). В этом случае ожидаемый доход был бы равен

$$6 \times 0.1 + 12 \times 0.2 + 18 \times 0.3 + 24 \times 0.3 + 30 \times 0.1 = 18.6$$

*Стоимость достоверной информации есть разница между этим ожидаемым доходом и максимальным ожидаемым доходом без достоверной*

информации. Это число  $18.6 - 14 = 4.6$  равно минимальным ожидаемым возможным потерям. Таким образом, наша кондитерская может заплатить 4.6 руб. в день за информацию о спросе на следующий день, т.е. это максимальная плата за маркетинговые услуги.

### Использование математического ожидания и среднего квадратичного отклонения для оценки риска.

Если решение принимается однократно, то необходимо определить степень отклонения от математического ожидания, т.е. вычислить дисперсию и среднее квадратичное отклонение для оценки риска.

Чем меньше среднее квадратичное отклонение, тем больше уверенности, что принятое решение даст результат, близкий к математическому ожиданию.

Рассмотрим применение среднего квадратичного отклонения для оценки риска на небольшом примере.

**Пример 2.7.6.** Предприятие производит некоторую продукцию, спрос на которую в течение месяца 6, 7, 8 или 9 ящиков с вероятностями 0,1; 0,3; 0,5; 0,1 соответственно. Затраты на производство одного ящика равны 45 тыс. руб. Предприятие продает один ящик по цене 95 тыс. руб. Если ящик с продукцией не продается в течение месяца, то она портится и предприятие не получает дохода. Сколько ящиков следует производить?

Рассчитаем доходы по каждой альтернативе и каждому исходу, математическое ожидание дохода и среднее квадратичное отклонение по каждой альтернативе и занесем в табл. 2.7.9.

Поясним расчеты для альтернативы производить 8 ящиков.

Если спрос 6 ящиков, то доход составит  $6 \times 95 - 8 \times 45 = 210$  тыс. руб.

Если спрос 7 ящиков, то доход составит  $7 \times 95 - 8 \times 45 = 305$  тыс. руб.

Если спрос 8 ящиков, то доход составит  $8 \times 95 - 8 \times 45 = 400$  тыс. руб.

Если спрос 9 ящиков, то доход тот же, так как произведено всего 8.

Таблица 2.7.9

Объем производства (ящиков)	Возможные исходы: спрос ящиков в месяц				Ожидаемый доход (тыс. руб.)	Среднее квадратичное отклонение
	6 (0,1)	7 (0,3)	8 (0,5)	9 (0,1)		
6	300	300	300	300	300	0
7	255	350	350	350	340,5	28,5
8	210	305	400	400	<b>352,5</b>	63,73
9	165	260	355	450	317	76

Ожидаемый доход  $210 \times 0,1 + 305 \times 0,3 + 400 \times 0,5 + 400 \times 0,1 = 352,5$ .

Дисперсия дохода составит  $(210 - 352,5)^2 \times 0,1 + (305 - 352,5)^2 \times 0,3 + (400 - 352,5)^2 \times 0,5 + (400 - 352,5)^2 \times 0,1 = 4061,25$ .

**Среднее квадратичное отклонение равно  $\sqrt{4061,25}=63,73$ .**

Итак, если принимаемое решение будет многократно использовано, то лучшая альтернатива производить 8 ящиков в месяц, при этом будет обеспечен максимальный средний доход 352,5 тыс. руб. Но если необходимо принять разовое решение, то предпочтительнее произвести 7 ящиков, при этом ожидаемая прибыль несколько меньше, зато риск резко сокращается: в первом случае ожидаемая прибыль будет лежать в пределах  $352,5 \pm 63,73$ , а во втором случае ожидаемая прибыль будет лежать в пределах  $340,5 \pm 28,5$ . В любом случае решение должен принимать руководитель с учетом его опыта, склонности к риску и степени достоверности оценок вероятностей спроса. Вся информация для принятия решения содержится в табл. 2.7.9.

Использование понятия полезности при определении размеров риска.

На принятие решения оказывают большое влияние субъективные качества лица, принимающего решение (ЛПР), такие как:

- финансовое состояние ЛПР;
- отношение ЛПР к риску вообще;
- настроение или состояние здоровья ЛПР;
- множество других, даже непосредственно не относящихся к бизнесу причин.

Теория полезности позволяет ЛПР влиять на денежный результат исходов согласно своим оценкам их полезности. Каждый может приспособить процесс принятия решения к своим запросам.

*Пример 2.7.7.* Рассмотрим два варианта инвестиций 1000 руб.

По первому варианту без риска можно получить 10% прибыли на вложенный капитал, по второму варианту можно, либо потерять весь капитал с вероятностью 0.6, либо его удвоить с вероятностью 0.4.

В первом случае гарантированный выигрыш составит 100 руб., во втором случае средний выигрыш равен  $0 \times 0.6 + 1000 \times 0.4 = 400$  руб.

Относительно получаемого среднего выигрыша вторая альтернатива явно предпочтительна, и если игрок безразличен к риску, он ее и выберет. Если он к риску не безразличен, то выбор будет зависеть от финансового состояния игрока. Игроки, имеющие скромный денежный доход, предпочитают не рисковать, и выберут гарантированный доход в 100 руб. Для игрока, обладающего достаточно крупным капиталом, проигрыш 1000 руб. невелик, и он предпочтет рискнуть. Рисковать будут также игроки, патологически склонные к финансовым авантюрам.

Таким образом, каждый игрок по-разному оценивает *полезность* того или иного исхода. Американскими учеными Дж. Нейманом и О. Моргенштерном была предложена методика численного определения *функции полезности*, и было показано, что игрок при принятии решения будет стремиться к максимизации ожидаемой полезности, которая вычисляется как

математическое ожидание полезностей всех исходов, составляющих данную альтернативу. Процедура построения индивидуальной функции полезности  $U(x)$  состоит из двух этапов.

Этап 1. Присваиваются произвольные значения полезностей выигрышам для худшего ( $x_{\min}$ ) и лучшего ( $x_{\max}$ ) исходов (например,  $U(x_{\min})=0$  и  $U(x_{\max})=100$ ). Тогда полезности промежуточных выигрышей будут находиться в интервале от 0 до 100.

Этап 2. Игроку предлагается на выбор: получить некоторую гарантированную сумму  $v$ , находящуюся между  $x_{\min}$  и  $x_{\max}$ , либо принять участие в игре, в которой с вероятностью  $p$  выигрывается сумма  $x_{\max}$  и с вероятностью  $(1 - p)$  сумма  $x_{\min}$ . При этом вероятность  $p$  меняется до тех пор, пока игрок станет безразличным в отношении к выбору между получением гарантированной суммы  $v$  и игрой. Пусть указанное значение вероятности равно  $p_0$ . Тогда

$$U(v) = p_0 U(x_{\max}) + (1 - p_0) U(x_{\min}).$$

Таким образом, строится функция полезности для любого  $v$ .

В общем случае график функции полезности может быть трех типов (рис. 2.7.1).

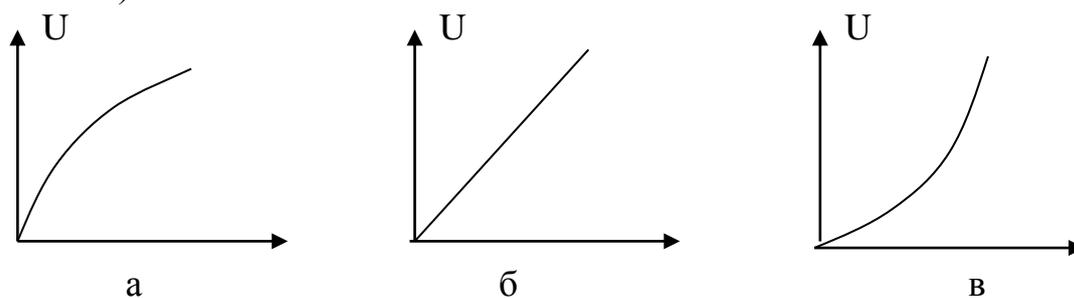


Рис. 2.7.1. Типы функций полезности Неймана – Morgenштерна для игрока, не склонного к риску (а), безразличного к риску (б), склонного к риску (в)

В рассмотренном выше примере  $x_{\min} = -1000$ , а  $x_{\max} = 1000$ . Пусть  $U(x_{\min}) = 0$  и  $U(x_{\max}) = 100$ . Необходимо оценить полезность гарантированного выигрыша  $v = 100$ . Если игрок (средне обеспеченный) согласен принять участие в игре (выиграть 1000 с вероятностью  $p$  или проиграть 1000 с вероятностью  $(1 - p)$ ) вместо гарантированного выигрыша в 100 руб. при условии, что  $p$  не менее 0.8, значит  $p_0 = 0.8$  и  $U(100) = 0.8 \times 100 + 0.2 \times 0 = 80$ .

Ожидаемая полезность первой альтернативы будет равна 80, а ожидаемая полезность второй альтернативы  $0.6 \times 0 + 0.4 \times 100 = 40$ , то есть для данного игрока предпочтительнее первая (безрисковая) альтернатива. В данном случае это решение прямо противоположно выбору, сделанному на основе критерия ожидаемого дохода, из-за учета риска, связанного с возможным исходом инвестиций по второму варианту.

#### 2.7.4. Биматричные игры

В случае, когда интересы игроков различны, получаются две платежные матрицы: одна – матрица выплат игроку А, другая – матрица выплат игроку В. такие игры называются *биматричными*.

В общем случае биматричная игра – это игра с ненулевой суммой.

##### Примеры биматричных игр

Примеры этого раздела описывают некоторые типические конфликтные ситуации, приводящие к биматричным играм. Сначала мы обсудим вопросы, связанные с формализацией рассматриваемых конфликтов (построение платежных матриц), а позднее – с рекомендациями по их разрешению.

##### *Борьба за рынки*

Небольшая фирма (игрок А) намерена сбыть партию товара на одном из двух рынков, контролируемых другой, более крупной фирмой (игрок В). Для этого фирма А готова сделать на одном из рынков соответствующие приготовления (например, развернуть рекламную кампанию). Господствующая на рынках фирма В может попытаться воспрепятствовать этому, приняв на одном из рынков предупредительные меры (разумеется, в рамках закона). Не встречая противодействия на рынке, фирма А захватывает его; при наличии препятствий – терпит поражение.

Будем считать для определенности, что проникновение фирмы А на первый рынок более выгодно для нее, нежели на второй. Естественно также считать, что и борьба за первый рынок потребует вложения больших средств. Например, победа фирмы А на первом рынке принесет ей вдвое больший выигрыш, чем победа на втором, но зато и поражение при попытке освоиться на первом рынке полностью ее разорит, а фирму В избавит от конкурента.

Что же касается второго рынка, то при поражении фирмы А ее потери будут не столь разорительны, но и победа принесет не много. Таким образом, у фирмы А две стратегии:

$A_1$  – выбор первого рынка,  $A_2$  – выбор второго рынка.

Такие же стратегии и у фирмы В:

$B_1$  – выбор первого рынка,  $B_2$  – выбор второго рынка.

Для того чтобы составить платежные матрицы игроков, нужны расчетные количественные показатели, которые мы приведем здесь в условных единицах:

$$A = \begin{pmatrix} -10 & 2 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 5 & -2 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Посмотрим на выписанные матрицы выплат. Из сказанного выше ясно, что если оба игрока выберут один и тот же рынок, то победа останется за более сильной фирмой В.

То, что в ситуации  $(A_1, B_1)$  выигрыш игрока В равен 5, а в ситуации  $(A_2, B_2) - 1$ , подчеркивает, что первый рынок более выгоден (удобно расположен, хорошо посещаем и т. п.), чем второй. Выигрыш  $(-10)$  игрока А в ситуации  $(A_1, B_1)$  (а точнее, проигрыш) в сопоставлении с его выигрышем  $(-1)$  в ситуации  $(A_2, B_2)$  выглядит, разумеется, вполне сокрушительно. Что же касается ситуации, когда фирмы уделяют основное внимание разным рынкам –  $(A_1, B_2)$  и  $(A_2, B_1)$ , то здесь фирму А ждет настоящий выигрыш, больший на более выгодном рынке. Потери, которые при этом несет фирма В, оказываются прямо противоположными.

#### *Дилемма узников*

Игроками являются два узника, находящиеся в предварительном заключении по подозрению в совершении преступления. При отсутствии прямых улик возможность их осуждения в большой степени зависит от того, заговорят они или будут молчать.

Если оба будут молчать, то наказанием будет лишь срок предварительного заключения (потери каждого из узников составят  $(-1)$ ). Если сознаются, то получают срок, учитывающий признание как смягчающее обстоятельство (потери каждого из узников составят в этом случае  $(-6)$ ). Если же заговорит только один из узников, а другой будет молчать, то в этом случае заговоривший будет выпущен на свободу (его потери равны 0), а сохраняющий молчание получит максимально возможное наказание (его потери будут равны  $(-9)$ ).

Эта конфликтная ситуация приводит к биматричной игре, в которой каждый из игроков имеет по две стратегии – молчать (М) или говорить (Г).

Выигрыши игроков А и В соответственно описываются так;

	(М)	(Г)
(М)	-1	-9
(Г)	0	-6

	(М)	(Г)
(М)	-1	0
(Г)	-9	-6

#### *Семейный спор*

Два партнера договариваются о совместном проведении одного из двух действий, (1) и (2), каждое из которых требует их совместного участия.

В случае осуществления первого из этих двух действий выигрыш первого партнера (игрок А) будет вдвое выше выигрыша второго партнера (игрок В). Напротив, в случае осуществления второго из этих двух действий выигрыш игрока А будет вдвое меньше выигрыша игрока В. Если же партнеры выполняют различные действия, то выигрыш каждого из них будет равен нулю.

Эта конфликтная ситуация приводит к биматричной игре, в которой каждый из игроков имеет по две стратегии. Выигрыши игроков А и В описываются таблицами следующего вида:

	(1)	(2)
(1)	2	0
(2)	0	1

	(1)	(2)
(1)	1	0
(2)	0	2

*Пояснение.* Понятно, что различные конфликтные ситуации могут иметь одну и ту же формализацию. В частности, рассмотренная биматричная игра часто интерпретируется как одновременный выбор супругами совместного развлечения: посещение оперного спектакля или хоккейного матча. При этом в посещении оперного театра жена заинтересована в большей степени, чем муж, а при посещении стадиона наблюдается обратная картина. В случае же непреодолимости разногласий, возникших при выборе, день оказывается вообще испорченным. Отсюда и название, вынесенное в заголовок.

*Студент – преподаватель*

Рассмотрим следующую ситуацию. Студент (игрок А) готовится к зачету, который принимает преподаватель (игрок В). Можно считать, что у студента две стратегии – подготовиться к сдаче зачета (+) и не подготовиться (–). У преподавателя также две стратегии – поставить зачет [+] и не поставить зачета [–]. В основу значений функций выигрыша игроков положим следующие соображения:

Выигрыш студента			Выигрыш преподавателя		
(+)	[+] Оценка заслужена	[–] Очень обидно	(+)	[+] Все нормально	[–] Был неправ
(–)	Удалось обмануть	Оценка заслужена	(–)	Далсебя обмануть	Опять придет

Количественно это можно выразить, например, так

	[+]	[–]		[+]	[–]
(+)	2	–1	(+)	1	–3
(–)	–1	0	(–)	–2	–1

**Смешанные стратегии**

В приведенных примерах описаны ситуации, в которых интересы игроков не совпадают. Естественно встает вопрос о том, какие рекомендации необходимо дать игрокам для того, чтобы моделируемая конфликтная ситуация разрешилась.

Иными словами, что мы будем понимать под решением биматричной игры?

Попробуем ответить на этот вопрос так: вследствие того, что интересы игроков не совпадают, нам нужно построить такое (компромиссное) реше-

ние, которое бы в том или ином, но в одинаковом смысле удовлетворяло обоим игрокам.

Иначе говоря, попробуем найти некую равновесную ситуацию, явное отклонение от которой уменьшает выигрыш игрока.

Подобный вопрос мы ставили и при рассмотрении матричных игр. Напомним, что возникавшее при разработке минимаксного подхода понятие равновесной ситуации приводило нас к поиску седловой точки, которая, как оказалось, существует далеко не всегда.

Естественно ожидать, что в более сложном случае биматричной игры дело вряд ли будет обстоять проще.

В матричных играх эта трудность была преодолена путем перехода к смешанным стратегиям, т. е. к такому поведению игроков, при котором они чередуют свои собственные чистые стратегии.

Иными словами, любая матричная игра в смешанных стратегиях разрешима.

Поэтому, рассматривая здесь биматричные игры, разумно попробовать сразу же перейти к смешанным стратегиям игроков. Тем самым мы предполагаем, что каждая игра может быть повторена в неизменных обстоятельствах многократно.

### 2 × 2 - биматричные игры. Ситуация равновесия

В 2×2 – биматричной игре платежные матрицы игроков имеют следующий вид:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}.$$

Вероятности выбора стратегий игрока А  $p_1=p, p_2=1-p$ , игрока В  $q_1=q, q_2=1-q$ , а средние выигрыши вычисляются по формулам

$$H_A(p, q) = a_{11}pq + a_{12}p(1-q) + a_{21}(1-p)q + a_{22}(1-p)(1-q),$$

$$H_B(p, q) = b_{11}pq + b_{12}p(1-q) + b_{21}(1-p)q + b_{22}(1-p)(1-q),$$

где  $0 \leq p \leq 1, \quad 0 \leq q \leq 1$ .

*Определение.* Будем говорить, что пара чисел

$$(p^*, q^*), \quad 0 \leq p^* \leq 1, \quad 0 \leq q^* \leq 1,$$

определяет *равновесную ситуацию*, если для любых  $p$  и  $q$ , подчиненных условиям  $0 \leq p \leq 1, 0 \leq q \leq 1$ , одновременно выполнены следующие неравенства:

$$H_A(p, q^*) \leq H_A(p^*, q^*), \quad H_B(p^*, q) \leq H_B(p^*, q^*). \quad (2.7.4)$$

*Пояснение.* Неравенства (2.7.3) означают следующее: ситуация, определяемая смешанной стратегией  $(p^*, q^*)$ , является равновесной, если отклонение от нее одного из игроков при условии, что другой сохраняет свой выбор, приводит к уменьшению выигрыша первого. Тем самым получается, что если равновесная ситуация существует, то отклонение от нее невыгодно самому игроку.

ТЕОРЕМА (Дж. Нэш). *Всякая биматричная игра имеет хотя бы одну равновесную ситуацию (точку равновесия) в смешанных стратегиях.*

Итак, равновесная ситуация существует. Но как ее найти?

Для обоснования способа определения равновесной ситуации сошлемся на следующий теоретический результат.

ТЕОРЕМА. Выполнение неравенств (2.7.4) равносильно выполнению неравенств

$$\begin{aligned} H_A(0, q^*) \leq H_A(p^*, q^*), \quad H_B(p^*, 0) \leq H_B(p^*, q^*), \\ H_A(1, q^*) \leq H_A(p^*, q^*), \quad H_B(p^*, 1) \leq H_B(p^*, q^*). \end{aligned} \quad (2.7.5)$$

Иными словами, для того чтобы убедиться, что пара  $(p^*, q^*)$  определяет равновесную ситуацию, достаточно проверить справедливость неравенств (2.7.5) только для двух чистых стратегий игрока А ( $p = 0$  и  $p=1$ ) и для двух чистых стратегий игрока В ( $q = 0$  и  $q = 1$ ).

Пропуская промежуточные алгебраические выкладки, приходим к следующему результату:

Для того чтобы в биматричной игре пара  $(p^*, q^*)$  определяла равновесную ситуацию, необходимо и достаточно одновременное выполнение следующих неравенств:

$$\begin{aligned} (p-1)(Cq-\alpha) &\geq 0, \\ p(Cq-\alpha) &\geq 0, \\ (q-1)(Dp-\beta) &\geq 0, \\ q(Dp-\beta) &\geq 0, \\ 0 \leq p \leq 1, \quad 0 \leq q \leq 1, \end{aligned} \quad (2.7.6)$$

где

$$\begin{aligned} C = a_{11} - a_{12} - a_{21} + a_{22}, \quad \alpha = a_{22} - a_{12}, \\ D = b_{11} - b_{12} - b_{21} + b_{22}, \quad \beta = b_{22} - b_{21}, \end{aligned}$$

### Поиск равновесных ситуаций

Геометрический смысл условий (2.7.6) рассмотрим на примерах описанных выше биматричных игр.

#### *Борьба за рынки*

Напомним, что ситуация, сложившаяся в этой задаче, задается платежными матрицами следующего вида:

$$A = \begin{pmatrix} -10 & 2 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 5 & -2 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Заменяя в неравенствах (2.7.5) величины  $C, \alpha, D$  и  $\beta$  их конкретными значениями

$$C = -10 - 2 - 1 - 1 = -14, \quad \alpha = -1 - 2 = -3, \quad D = 5 + 2 + 1 + 1 = 9, \quad \beta = 1 + 1 = 2,$$

получаем

$$\begin{aligned} (l) \quad (p-1)(-14q-(-3)) &\geq 0, & (r) \quad (q-1)(9p-2) &\geq 0, \\ p(-14q-(-3)) &\geq 0, & q(9p-2) &\geq 0. \end{aligned}$$

Рассмотрим сначала левую пару неравенств (l):

$$(p-1)(-14q+3) \geq 0, \quad p(-14q+3) \geq 0.$$

Возможны следующие три случая:

$$1) p=1, \quad 2) p=0, \quad 3) 0 < p < 1.$$

Рассмотрим каждый из этих случаев подробно.

$$1. \text{ Полагая } p = 1, \text{ получаем } 0 \geq 0, \quad -14q+3 \geq 0.$$

$$\text{Отсюда} \quad q \geq 3/14.$$

$$2. \text{ Полагая } p = 0, \text{ получаем } 0 \geq 0, \quad -(-14q+3) \geq 0, \quad 0 \geq 0, \text{ откуда} \\ 14q - 3 \geq 0 \text{ и, значит, } q \leq 3/14.$$

$$3. \text{ Наконец, положив } 0 < p < 1, \text{ получим}$$

$$-14q+3 \geq 0,$$

$$-14q+3 \leq 0,$$

что возможно лишь в случае, если

$$-14q+3=0, \text{ т. е. } q = 3/14.$$

Перенесем теперь полученные результаты на чертеж. Введем на плоскости прямоугольную систему координат  $(p, q)$  и выделим на ней единичный квадрат, соответствующий неравенствам  $0 \leq p \leq 1, 0 \leq q \leq 1$ , (рис.2.7.2).

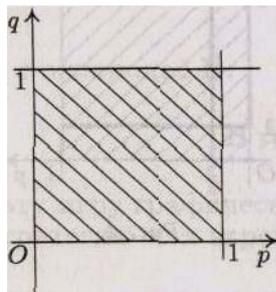


Рис. 2.7.2

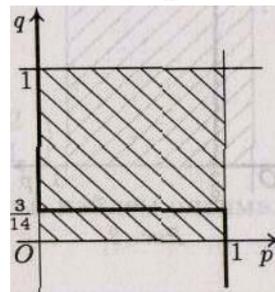


Рис. 2.7.3

Нанесем на этот чертеж то множество точек, которое описывается условиями 1, 2 и 3. Это множество на рис. 2.7.3 выделено жирной линией и состоит из трех прямолинейных участков – двух вертикальных лучей и одного горизонтального отрезка – и представляет собой «зигзаг».

Теперь обратимся к правой части неравенств (r):

$$(q-1)(9p-2) \geq 0, \quad q(9p-2) \geq 0.$$

Три интересных для нас случая:

$$1) q=1, 2) q=0, 3) 0 < q < 1$$

приводят к следующему результату:

$$1^\circ. q=1, p \geq 2/9,$$

$$2^\circ. q=0, p \leq 2/9,$$

$$3^\circ. 0 < q < 1, p=2/9.$$

Переносим его на чертеж, получим второй «зигзаг», но уже горизонтальный.

Теперь остается только объединить полученное на рис. 2.7.4. Общая точка построенных зигзагов – точка равновесия – имеет координаты

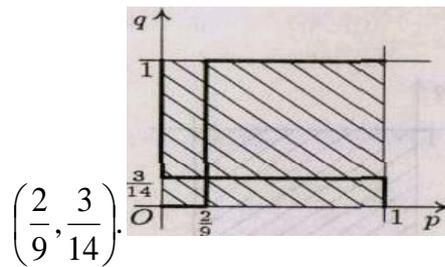


Рис. 2.7.4

Соответствующие смешанные стратегии игроков имеют следующий вид:

$$P = \left\{ \frac{2}{9}, \frac{7}{9} \right\}, \quad Q = \left\{ \frac{3}{14}, \frac{11}{14} \right\},$$

а средние выигрыши игроков таковы:

$$H_A \left( \frac{2}{9}, \frac{3}{14} \right) = -\frac{4}{7}, \quad H_B \left( \frac{2}{9}, \frac{3}{14} \right) = \frac{1}{3}.$$

*Дилемма узников*

Выигрыши игроков  $A$  и  $B$  описываются соответствующими матрицами выплат:

$$A = \begin{pmatrix} -1 & -9 \\ 0 & -6 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ -9 & -6 \end{pmatrix}.$$

Проведем необходимые вычисления. Имеем:

$$C = -1 - (-9) - 0 + (-6) = 2, \quad \alpha = -6 - (-9) = 3,$$

$$D = -1 - 0 - (-9) + (-6) = 2, \quad \beta = -6 - (-9) = 3.$$

Отсюда

$$(l) \quad (p-1)(2q-3) \geq 0, \quad (r) \quad (q-1)(2p-3) \geq 0, \\ p(2q-3) \geq 0, \quad q(2p-3) \geq 0.$$

и тогда получаем, что

$$1^l. p=1, q \geq 3/2, \quad 2^l. p=0, q \leq 3/2, \quad 3^l. 0 < p < 1, q=3/2; \\ 1^r. q=1, p \geq 3/2, \quad 2^r. q=0, p \leq 3/2, \quad 3^r. 0 < q < 1, p=3/2.$$

Полученные зигзаги изображены на рис. 2.7.5.

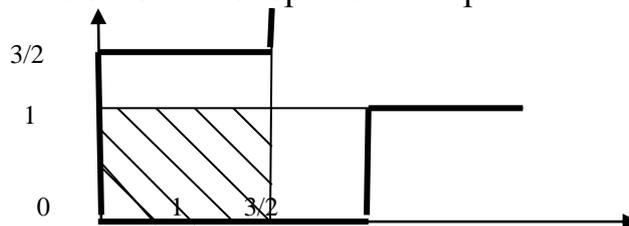


Рис. 2.7.5

Единственная равновесная ситуация –  $(0,0)$ . Это ситуация, в которой каждый из игроков выбирает вторую чистую стратегию – сознаться – и его потери составляют 6.

Отклонение от ситуации равновесия одного из игроков не дает ему никаких преимуществ. Однако при одновременном отклонении обоих каждый из них может получить больший выигрыш, нежели в равновесной си-

туации. Например, в ситуации (1,1), когда оба игрока выбирают первую чистую стратегию – молчать, каждый из них теряет лишь 1.

Напомним, что по условию задачи сговор (создание коалиции) между игроками недопустим.

Совершенно ясно, однако, что в рассматриваемых обстоятельствах ситуация (1,1) неустойчива – любой из узников, изменяя свою стратегию, увеличивает свой выигрыш (избегает наказания).

### Семейный спор

Выигрыши игроков А и В в этой биматричной игре задаются так:

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix}.$$

Проводя необходимые вычисления:

$$C = 2 - 0 - 0 + 1 = 3, \quad \alpha = 1 - 0 = 1,$$

$$D = 1 - 0 - 0 + 2 = 3, \quad \beta = 2 - 0 = 2$$

и рассуждения:

$$(l) \quad (p-1)(3q-1) \geq 0,$$

$$(r) \quad (q-1)(3p-2) \geq 0,$$

$$p(3q-1) \geq 0,$$

$$q(3p-2) \geq 0,$$

получаем, что

$$1^l. p=1, q \geq 1/3, \quad 2^l. p=0, q \leq 1/3, \quad 3^l. 0 < p < 1, q=1/3;$$

$$1^r. q=1, p \geq 2/3, \quad 2^r. q=0, p \leq 2/3, \quad 3^r. 0 < q < 1, p=2/3.$$

Геометрически полученный результат изображен на рис. 2.7.6.

Данная игра имеет три точки равновесия. Две из них отвечают чистым стратегиям игроков:

$$p=1, q=1: \quad H_A(1, 1)=2, H_B(1, 1)=1,$$

$$p=0, q=0: \quad H_A(0, 0)=1, H_B(0, 0)=2,$$

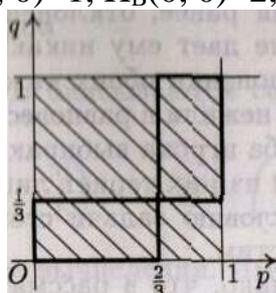


Рис. 2.7.6

одна – смешанной:

$$p = \frac{2}{3}, q = \frac{1}{3}: H_A\left(\frac{2}{3}, \frac{1}{3}\right) = \frac{2}{3}, H_B\left(\frac{2}{3}, \frac{1}{3}\right) = \frac{2}{3}.$$

В полученных результатах больше вопросов, чем ответов.

Ситуации (1,1) и (0,0) означают одновременный выбор игроками первых или соответственно вторых стратегий, т. е. определенную договоренность о совместных действиях.

Однако в данном случае есть еще одна ситуация равновесия, состоящая в выборе игроками вполне определенных смешанных стратегий. В ней оба игрока получают одинаковые выигрыши, правда, меньшие тех, которые давали две другие равновесные ситуации.

Какой же из этих трех ситуаций равновесия следует отдать предпочтение?

Если бы игроки договорились выбрать одновременно, скажем, первую чистую стратегию, причем игрок А за получение большего выигрыша, чем игрок В, заплатил бы ему  $1/2$ , то выигрыш каждым полутора единиц можно было бы считать и выгодным, и справедливым. Однако в рамках теории бескоалиционных игр такого рода дележи не рассматриваются.

*Студент – преподаватель*

Наконец, обратимся к последнему из приведенных выше примеров биматричных игр – студент-преподаватель. Ожидания каждого из них относительно результатов общения в матричном виде выглядят следующим образом;

$$A = \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1 & -3 \\ -2 & -1 \end{pmatrix}.$$

Проводя необходимые вычисления:

$$C = 2 + 1 - 1 + 0 = 2, \quad \alpha = 0 + 1 = 1,$$

$$D = 1 + 3 + 2 - 1 = 5, \quad \beta = -1 + 2 = 1$$

и рассуждения:

$$(l) \quad (p-1)(2q-1) \geq 0,$$

$$p(2q-1) \geq 0,$$

$$(r) \quad (q-1)(5p-1) \geq 0,$$

$$q(5p-1) \geq 0,$$

получаем, что

$$1^l. \quad p=1, \quad q \geq 1/2, \quad 2^l. \quad p=0, \quad q \leq 1/2, \quad 3^l. \quad 0 < p < 1, \quad q=1/2;$$

$$1^r. \quad q=1, \quad p \geq 1/5, \quad 2^r. \quad q=0, \quad p \leq 1/5, \quad 3^r. \quad 0 < q < 1, \quad p=1/5.$$

(рис. 2.7.7).

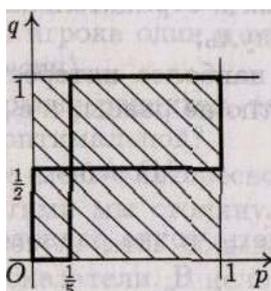


Рис. 2.7.7

Число точек пересечения у зигзагов (равновесных ситуаций) равно трем.

Две из них отвечают чистым стратегиям игроков:

$$p=1, \quad q=1: \quad H_A(1, 1)=2, \quad H_B(1, 1)=1,$$

$$p=0, \quad q=0: \quad H_A(0, 0)=0, \quad H_B(0, 0)=-1,$$

одна – смешанной:

$$p = \frac{1}{5}, q = \frac{1}{2} : H_A\left(\frac{1}{5}, \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2}, H_B\left(\frac{1}{5}, \frac{1}{2}\right) = -\frac{7}{5}.$$

В данной задаче в отличие от предыдущей все довольно ясно, наилучшим является выбор каждым из игроков первой чистой стратегии – хорошо подготовиться к зачету и поставить зачет.

Как нетрудно заметить, тем самым в этой задаче реализуется весьма редкая возможность, когда функции выигрыша каждого из игроков достигают своих максимумов одновременно.

Выгодность такой ситуации совершенно ясна. Ее устойчивость также вполне очевидна: любое отклонение от ситуации (1,1) одного из игроков или обоих игроков может привести разве что к уменьшению их выигрышей.

### Некоторые итоги

Из приведенных примеров видно, что числа  $C$  и  $D$  могут быть как положительными, так и отрицательными. Они могут, в частности, даже обращаться в нуль.

Рассмотрим, однако, наиболее интересный в приложениях случай, когда ни  $C$  ни  $D$  нулю не равны. Тогда, как нетрудно видеть, точка равновесия определяется парой

$$p = \frac{\beta}{D}, q = \frac{\alpha}{C}.$$

Эти формулы являются весьма примечательными: в равновесной ситуации выбор игрока  $A$  полностью определяется элементами платежной матрицы игрока  $B$ ,

$$p = \frac{b_{22} - b_{21}}{b_{11} - b_{12} - b_{21} + b_{22}}$$

(и не зависит от элементов его собственной платежной матрицы), а выбор игрока  $B$  в равновесной ситуации полностью определяется элементами платежной матрицы игрока  $A$ ,

$$q = \frac{a_{22} - a_{12}}{a_{11} - a_{12} - a_{21} + a_{22}}$$

(и не зависит от элементов его собственной платежной матрицы).

Иными словами, равновесная ситуация обоих игроков определяется не столько стремлением увеличить собственный выигрыш, сколько желанием держать под контролем выигрыш другого игрока (минимизировать этот выигрыш). И если, например, заменить в биматричной игре матрицу выплат игроку  $A$ , а матрицу выплат игроку  $B$  оставить прежней, то игрок  $A$  никак не изменит своего "равновесного" поведения (просто не обратит внимания на эту замену), в то время как игрок  $B$  изменит свою стратегию на новую, равновесную.

Таким образом, в биматричной (неантагонистической) игре мы вновь встречаемся с антагонизмом. Правда, теперь это уже не *антагонизм инте-*

*ресов* (как было в антагонистической, матричной игре), а *антагонизм поведения*.

Отметим, что в биматричных играх (в отличие от матричных) при наличии нескольких ситуаций равновесия средний выигрыш игрока в разных равновесных ситуациях различен (напомним, что в матричной игре выигрыш игрока один и тот же вне зависимости от количества точек равновесия).

Но если средние выигрыши разнятся, то какую равновесную ситуацию следует считать оптимальной?

Наконец, еще одно, не менее интересное обстоятельство. Вспомним, с какими трудностями мы столкнулись, пытаясь перевести эмоциональные оценки результатов общения студент-преподаватель в количественные показатели. В целом сохраняя основные соотношения, эти количественные оценки могут, конечно, изменяться как от студента к студенту, так и от преподавателя к преподавателю. Однако если эти изменения будут не слишком значительными – элементы платежной матрицы «пошевелинутся» слегка – то слегка «пошевелинутся» и зигзаги, не изменяя ни своей общей формы, ни взаимного расположения, а значит, число равновесных ситуаций не изменится. Впрочем, сказанное относится лишь к случаю, когда множество ситуаций равновесия конечно и состоит из нечетного числа точек (одной или трех).

Как принято говорить в подобных случаях, это число *устойчиво относительно малых шевелений*.

Конечно, в некоторых биматричных играх равновесные ситуации случаются и в чистых стратегиях (в последнем из разобранных примеров таких ситуаций даже две). Но, как показывают разобранные примеры, во-первых, чистой ситуации равновесия может вовсе не быть, и, во-вторых, даже при ее наличии не исключено существование равновесных ситуаций в смешанных стратегиях. И, чтобы найти их все, неизбежно приходится обращаться к описанному выше подходу.

### **2.7.5. Понятие коалиционных игр**

Ситуация значительно усложняется, когда в игре принимают участие более двух игроков. Водится понятие *коалиции* игроков, которые пользуются согласованной стратегией против интересов игроков, не входящих в их коалицию. Тогда могут быть вычислены ожидаемые выигрыши (значения игры) для каждой коалиции. В частности, вычисляются значения игры для каждого игрока в предположении, что он играет против коалиции всех других игроков. Обозначим эти значения  $g_1, g_2, \dots, g_n$ . Нормальный выигрыш игрока должен быть не меньше соответствующего значения игры, назовем такой выигрыш *обязательством*. Таким образом,  $(s_1, s_2, \dots, s_n)$  – обязательство, если  $s_i \geq g_i$  для  $i=1, 2, \dots, n$  и  $\sum_i s_i = G$ , где  $G$  – значение игры (суммарный выигрыш всех игроков, не обязательно равный нулю). Тогда решением для

игры и лиц будет такое множество обязательств, что ни одно обязательство этого множества не доминирует над другими обязательствами того же множества и для любого обязательства, не принадлежащего этому множеству, найдется обязательство нашего множества, доминирующее над ним. (Теорема фон Неймана и Моргенштейна). Отношение *доминирования* используется только для двух игроков или больше и заключается в превышении выигрышей этих игроков в одном обязательстве по отношению к выигрышам этих же игроков в другом обязательстве.

В заключение приведем оценку теории игр, данную Вильямсом: «...хотя в настоящее время уже выяснены, несмотря на множество ограничений теории, многие ее специфические приложения, ее наибольший, пока неясный, вклад состоит в том, что она дает людям, имеющим дело со сверхсложными проблемами, самую общую ориентацию. Даже если эти проблемы не поддаются строгому решению, она дает основу для работы над ними. Идея стратегии, различия между игроками, роль случайных событий, понятие матрицы выигрышей, идеи чистой и смешанной стратегии и т.д. дают драгоценную ориентацию лицам, которым необходимо обдумывать сложные конфликтные ситуации».

### 2.7.6. Примеры состязательных задач

**Пример 1.** ЗАО «ПК Элина» продает свой товар в основном бюджетным организациям. Объем продаж зависит от финансирования организаций. Распределение объемов продаж различного вида товара от степени финансирования представлено в таблице 2.7.10.

Таблица 2.7.10

Распределение объемов продаж от степени финансирования

Наименование товара	Финансирование		Прибыль, руб./шт.	Затраты на хранение, руб./шт.
	«Хорошее»	«Плохое»		
«Южный Урал»	200	400	100	10
«Патриот»	400	70	300	10
«Смерч-100»	150	200	200	5
«Смерч-200»	100	20	300	5

Необходимо определить оптимальный объем производства каждого вида товара, обеспечивающий максимальную прибыль.

Решение: Для решения задачи воспользуемся теорией игр.

На основании исходных данных строим платежную матрицу, где 1-я стратегия: объем производства, рассчитанный на хорошее финансирование, 2-я стратегия: объем производства, рассчитанный на плохое финансирование.

Таблица 2.7.11

Платежная матрица

	«хорошее»	«плохое»
1-я стратегия	200000	73300
2-я стратегия	74750	107000

Элементы платежной матрицы вычисляются следующим образом:

$$a_{11} = 200 * 100 + 400 * 300 + 150 * 200 + 100 * 300 = 200000$$

$$a_{12} = 200 * 100 + 70 * 300 + 150 * 200 + 20 * 300 - 330 * 10 - 80 * 5 = 73300$$

$$a_{21} = 200 * 100 + 70 * 300 + 150 * 200 + 20 * 300 - 200 * 10 - 50 * 5 = 74750$$

$$a_{22} = 400 * 100 + 70 * 300 + 200 * 200 + 20 * 300 = 107000$$

Преобразуем платежную матрицу следующим образом:

$$\begin{bmatrix} 200000 & 73300 \\ 74750 & 107000 \end{bmatrix} - 73300 = \begin{bmatrix} 126700 & 0 \\ 1450 & 33700 \end{bmatrix} : 1450 = \begin{bmatrix} 87,38 & 0 \\ 1 & 23,24 \end{bmatrix}$$

Тогда система уравнений запишется в виде:

$$\begin{cases} 87,38 x_1 + x_2 \geq 1 \\ x_2 \geq 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 \leq 0,011 \\ x_2 \leq 0,043 \end{cases}$$

$$\text{Целевая функция } F^* = x_1 + x_2 = 0,011 + 0,043 = 0,054$$

Частота использования стратегий определяется как  $p_i = x_i * g = x_i / F^*$ , т.е для наших данных  $\begin{cases} p_1 = 0,011 / 0,054 = 0,2 \\ p_2 = 0,043 / 0,054 = 0,8 \end{cases}$

Произведем противоположные действия преобразованию платежной матрицы и получим минимальную прибыль (цену игры):

$$v = (1 / F^*) * 1450 + 73300 = (1 / 0,054) * 1450 + 73300 = 100152 \text{ руб.}$$

Теперь определим объём производства каждого вида товара:

$$\text{«Южный Урал»}: 200 * 0,2 + 400 * 0,8 = 360 \text{ штук,}$$

$$\text{«Патриот»}: 400 * 0,2 + 70 * 0,8 = 136 \text{ штук,}$$

$$\text{«Смерч-100»}: 150 * 0,2 + 200 * 0,8 = 190 \text{ штук,}$$

$$\text{«Смерч-200»}: 100 * 0,2 + 20 * 0,8 = 36 \text{ штук.}$$

**Пример 2. Решить игру**

$$H = \begin{bmatrix} 5 & 6 & 3 & 0 \\ 10 & 5 & 12 & 10 \\ 10 & 0 & 5 & 20 \end{bmatrix}$$

Чтобы гарантировать  $v > 0$ , прибавим ко всем элементам матрицы  $H$  константу  $+1$ . Тогда получим матрицу

$$H' = \begin{bmatrix} 6 & 7 & 4 & 1 \\ 11 & 6 & 13 & 11 \\ 11 & 1 & 6 & 21 \end{bmatrix}$$

Пара двойственных задач линейного программирования будет в данном случае выглядеть следующим образом:

Минимизировать

$$T = x_1' + x_2' + x_3'$$

при условиях

$$\left. \begin{aligned} 6x_1' + 11x_2' + 11x_3' &\geq 1, \\ 7x_1' + 6x_2' + x_3' &\geq 1, \\ 4x_1' + 13x_2' + 6x_3' &\geq 1, \\ x_1' + 11x_2' + 21x_3' &\geq 1, \\ x_1' \geq 0, x_2' \geq 0, x_3' &\geq 0. \end{aligned} \right\}$$

Максимизировать

$$L = y_1' + y_2' + y_3' + y_4'$$

при условиях

$$\left. \begin{aligned} 6y_1' + 7y_2' + 4y_3' + y_4' &\leq 1, \\ 11y_1' + 6y_2' + 13y_3' + 11y_4' &\leq 1, \\ 11y_1' + y_2' + 6y_3' + 21y_4' &\leq 1, \\ y_1' \geq 0, y_2' \geq 0, y_3' \geq 0, y_4' &\geq 0. \end{aligned} \right\}$$

После применения симплексного метода получим оптимальное решение второй задачи:

$$y_1^{*} = 0, y_2^{*} = \frac{10}{71}, y_3^{*} = 0, y_4^{*} = \frac{1}{71} \text{ и } L_{\max} = T_{\min} = \frac{11}{71}.$$

Отсюда

$$v' = \frac{1}{L_{\max}} = \frac{1}{T_{\min}} = \frac{71}{11} \text{ и } y_1^* = \frac{71}{11} \cdot 0 = 0, y_2^* = \frac{71}{11} \cdot \frac{10}{71} = \frac{10}{11},$$

$$y_3^* = \frac{71}{11} \cdot 0 = 0, y_4^* = \frac{71}{11} \cdot \frac{1}{71} = \frac{1}{11}.$$

Таким образом, оптимальная стратегия игрока II есть

$$\mathbf{Y}^* = \left[ 0, \frac{10}{11}, 0, \frac{1}{11} \right], v = v' - 1 = \frac{71}{11} - 1 = \frac{60}{11}.$$

Оптимальное решение первой задачи:

$$x_1^{*} = \frac{5}{71}, x_2^{*} = \frac{6}{71}, x_3^{*} = 0,$$

откуда

$$x_1^* = \frac{71}{11} \cdot \frac{5}{71} = \frac{5}{11}, x_2^* = \frac{71}{11} \cdot \frac{6}{71} = \frac{6}{11}, x_3^* = \frac{71}{11} \cdot 0 = 0$$

и

$$\mathbf{X}^* = \left[ \frac{5}{11}, \frac{6}{11}, 0 \right].$$

Итак,

$$(\mathbf{X}^*, \mathbf{Y}^*, v) = \left( \left[ \frac{5}{11}, \frac{6}{11}, 0 \right], \left[ 0, \frac{10}{11}, 0, \frac{1}{11} \right], \frac{60}{11} \right).$$

Пример 3. Пусть ежедневный спрос на булочки в магазине задается следующим распределением вероятностей:

спрос	100	150	200	250	300
Вероятность спроса	0.20	0.25	0.30	0.15	0.10

Магазин закупает булочки по 2.5 руб. и продает по 4.9 руб. за штуку. Если булочка не продана в тот же день, то она реализовывается по 1.5 руб. Какое наибольшее число булочек необходимо заказывать ежедневно, если величина заказа может принимать одно из возможных значений спроса?

Прибыль от продажи «свежей» булочки составляет  $4.9 - 2.5 = 2.4$  руб.

Потеря от продажи «черствой» составляет  $2.5 - 1.5 = 1$  руб.

Представим модель данной задачи в виде игры магазина со спросом. Стратегия магазина – ежедневный объем заказа, при этом спрос может принимать одно из своих возможных значений. Составим платежную матрицу игры для магазина:

Заказ магазина	Возможный ежедневный спрос					Ожид. прибыль
	100	150	200	250	300	
100	240	240	240	240	240	240
150	240-50	360	360	360	360	326
200	240-100	360-50	480	480	480	369.5
250	240-150	360-100	480-50	600	600	362
300	240-200	360-150	480-100	600-50	720	329

На пересечении строки с некоторым объемом заказа и столбца с возможным спросом находится элемент  $a_{ij}$  – ожидаемая прибыль магазина в этой ситуации. В последней колонке вычислена ожидаемая (средняя) прибыль в случае распределения вероятностей спроса в соответствии с условиями примера. Например, для третьей строки имеем  $140 \cdot 0.2 + 310 \cdot 0.25 + 480 \cdot 0.3 + 480 \cdot 0.15 + 480 \cdot 0.1 = 369.5$ . Кстати, выбор этой стратегии (ежедневный заказ – 200 булочек) и будет оптимальным, т.к. обеспечивает максимальную прибыль (правило Байеса).

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите виды игр и приведите их определения.
2. Как составляется платежная матрица?
3. Как определить верхнюю и нижнюю цену игры? Что такое седловая точка игры?
4. Что означает решение игры в смешанных стратегиях.
5. Каковы основные термины и определение теории игр?

6. Определите и запишите антагонистическую матричную игру.
7. Каков принцип минимакса?
8. Когда следует использовать смешанные стратегии и как их найти?
9. Понятие и примеры матричных антагонистических игр с нулевой суммой.
10. Задача определения оптимальной смешанной стратегии в антагонистической матричной игре с нулевой суммой и её экономическая интерпретация.
11. Понятие и экономическая интерпретация цены игры. Определение цены матричной антагонистической игры с нулевой суммой.
12. Оптимальные смешанные стратегии: понятие, причины использования, приёмы практической реализации.
13. Подготовка исходных данных для анализа матричной антагонистической игры с нулевой суммой в целях подготовки управленческого решения.

## **ТЕМА 2.8. ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ**

### **2.8.1. Область применения динамического программирования**

Элементы динамики и учет времени играли важнейшую роль в некоторых прикладных задачах исследования операций, рассмотренных в предыдущих темах. Однако ранее основное внимание уделялось эффективным методам отыскания численных решений задач большой размерности.

В данной теме решающее значение по-прежнему имеет одновременный учет всех ограничений системы, однако излагаемый здесь материал в основном посвящен динамическим структурным зависимостям оптимизационных моделей. Вначале рассматриваются детерминированные задачи, так что в каждой из них процесс решения приводит к однозначному результату. Затем исследуются вероятностные модели.

Ниже мы изучим условия, которым должен удовлетворять оптимальный многошаговый процесс принятия решений, и покажем, каким образом использовать эти условия для нахождения лучшего варианта. Подобный анализ часто называют **динамическим программированием**. Будем рассматривать конечный плановый период, в конце темы обсудим особенности оптимизации в условиях бесконечного планового периода с учетом дисконтирования во времени и приведения экономических показателей к исходному моменту времени.

Вот некоторые типичные области применения моделей динамического программирования при принятии решений:

- Разработка правил управления запасами, устанавливающих момент пополнения запасов и размер пополняющего заказа.
- Разработка принципов календарного планирования производства и выравнивания занятости в условиях колеблющегося спроса на продукцию.

- Определение необходимого объема запасных частей, гарантирующего эффективное использование дорогостоящего оборудования.
- Распределение дефицитных капитальных вложений между возможными новыми направлениями их использования.
- Выбор методов проведения рекламной кампании, знакомящей покупателя с продукцией фирмы.
- Систематизация методов поиска ценного вида ресурса.
- Составление календарных планов текущего и капитального ремонта сложного оборудования.
- Разработка долгосрочных правил замены выбывающих из эксплуатации основных фондов.

### 2.8.2. Основные идеи динамического программирования

Общей особенностью всех моделей динамического программирования является сведение задачи принятия решений к получению рекуррентных соотношений. Для тех, кто не пользовался подобными формализованными методами для решения задач, связанная с этим система математических обозначений может показаться странной, поэтому рекомендуется прочитать текст не менее двух раз. При первом чтении следует постараться понять смысл поставленной задачи и хорошо ознакомиться с условными обозначениями; при втором чтении больше внимания целесообразно уделить деталям постановки и характеру математических выражений (это правило относится, кстати, и к изучению других тем).

На небольшом примере объясним важные идеи динамического программирования, а также введем необходимые условные обозначения.

**Пример 2.8.1.** Рассмотрим транспортную сеть (задача о кратчайшем маршруте).

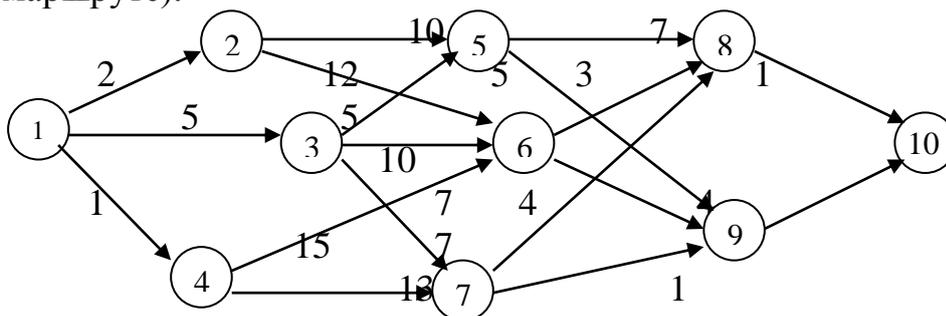


Рис.2.8.1. Задача о кратчайшем маршруте

Пусть  $c_{ij}$  – расстояние (или стоимость переезда) от пункта  $i$  в пункт  $j$  (на рисунке заданы числами у каждой стрелки). Необходимо выбрать такой путь от пункта 1 до пункта 10, для которого его длина (или общая стоимость переезда) является минимальной.

Из пункта 1 можно переехать в пункт 2, 3 или 4; из пункта 2 в пункт 5 или 6 и т.д. Назовем нахождение в пункте – *состоянием* системы, переезд

из пункта в пункт – *процессом* перехода из одного состояния в другое. Таким образом, переезд из пункта 1 в пункт 3 есть одношаговый процесс, а скажем, из пункта 1 в пункт 10 – *многошаговый процесс* перехода из состояния 1 в состояние 10.

Выбор процесса перехода из состояния  $i$  в состояние  $j$  назовем *стратегией*. Допустим, мы нашли оптимальный (в данном случае минимальный) маршрут и находимся в его промежуточном пункте, тогда, независимо от пути достижения этого пункта (состояния), оптимальный путь из данного пункта до конечного состояния есть часть общего оптимального пути. Этот **принцип оптимальности** впервые был сформулирован Р.Беллманом в 1953 г. Приведем этот принцип в формулировке Елены Сергеевны Вентцель<sup>139</sup>:

*Каково бы ни было состояние системы в результате некоторого числа шагов, на текущем шаге нужно выбирать управление так, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на всех последующих шагах приводило к оптимальному выигрышу на всех оставшихся шагах, включая данный.* Этот принцип верен для задач динамического программирования, в которых процесс управления происходит без обратной связи, т.е. управление на каждом шаге не оказывает влияния на предшествующие шаги.

Введем следующие обозначения:

$f_n(s)$  – стоимость, отвечающая стратегии минимальных затрат для пути от состояния  $s$  до конечного состояния, если до него остается  $n$  шагов;

$x_n(s)$  – решение, позволяющее достичь  $f_n(s)$ .

Т.е.  $x_n(s)$  соответствует пути минимальной длины от состояния  $s$  до конечного состояния, которое достигается за  $n$  шагов.

Вернемся к нашему примеру. Рассмотрим последовательно все состояния от *последнего* до *первого*.

Имеем  $f_0(10)=0$  для  $x_0(10)=$  остановка. Затем

$$f_1(8)=1+0=1 \text{ для } x_1(8)=10,$$

$$f_1(9)=4+0=4 \text{ для } x_1(9)=10. \text{ Далее}$$

$$f_2(5)=\min(7+1, 5+4)=8 \text{ для } x_2(5)=8,$$

$$f_2(6)=\min(3+1, 4+4)=4 \text{ для } x_2(6)=8,$$

$$f_2(7)=\min(7+1, 1+4)=5 \text{ для } x_2(7)=9.$$

**Для третьего (с конца) шага имеем:**

$$f_3(2)=\min(10+8, 12+4)=16 \text{ для } x_3(2)=6,$$

$$f_3(3)=\min(5+8, 10+4, 7+5)=12 \text{ для } x_3(3)=7,$$

$$f_3(4)=\min(15+4, 13+5)=18 \text{ для } x_3(4)=7.$$

И, наконец,  $f_4(1)=\min(2+16, 5+12, 1+18)=17$  для  $x_4(1)=3$ .

Мы получили оптимальный путь (наименьшей длины или стоимости) равный 17. Он проходит через события 1-3-7-9-10. (При последовательном

<sup>139</sup> Вентцель Е.С. Исследование операций: Задачи, принципы, методология. – М.: Высшая школа, 2005. – 208 с.

рассмотрении всех состояний оптимальные переходы выделялись жирным шрифтом).

Заметим, что на каждом шаге мы пользовались **динамическим рекуррентным соотношением**:

$$f_n(s) = \min_{\forall (s,j)} (c_{sj} + f_{n-1}(j)), \quad n=1,2,3,4 \quad (2.8.1)$$

Очевидно, динамическое программирование здесь более эффективно, чем прямой перебор всех возможных маршрутов, сопровождаемый их оценкой. В данном примере имеется 14 возможных путей; чтобы для каждого определить оценку, придется суммировать четыре числа. Следовательно, для простого перебора потребуется  $3 \times 14 = 42$  операции сложения, тогда как мы управились за 16 операций. Преимущество рекуррентного подхода может оказаться огромным при практическом применении, когда полный перебор обычно неосуществим.

### 2.8.3. Распределение Q средств между N предприятиями

Пусть  $x_n$  – средства, выделенные n-му предприятию; они приносят в конце года прибыль  $c_n(x_n)$ .

Будем считать, что  $x_n$  принимает только целые значения, прибыль  $c_n(x_n)$  не зависит от вложения средств в другие предприятия и суммарная прибыль равна сумме прибылей, полученных от каждого предприятия. Тогда модель имеет вид:

Найти целочисленные неотрицательные переменные  $x_n$  ( $n=1,2,\dots,N$ ), удовлетворяющие ограничению:

$$\sum_n x_n = Q, \quad (2.8.2)$$

и обращающие в максимум функцию

$$C = \sum_n c_n(x_n). \quad (2.8.3)$$

Здесь процесс распределения средств можно рассматривать как многошаговый, номер шага совпадает с номером предприятия; состояние будет определяться величиной  $s_n$  – количество средств, подлежащих распределению на n-м шаге (с конца).

Обозначим  $f_n(s_n)$  – условную оптимальную прибыль, полученную от последних n предприятий при распределении между ними  $s_n$  средств и вычисляемую в соответствии с динамическим рекуррентным соотношением:

$$f_n(s_n) = \max_{\forall x} (c_n(x_n) + f_{n-1}(s_{n-1})), \quad n=1,2,\dots,N. \quad (2.8.4)$$

**Пример 2.8.2.** Пусть  $N = 4$ ,  $Q = 5$ , значения  $c_n(x_n)$  заданы в табл. 2.8.1.

Таблица 2.8.1

$x$	$c_4(x)$	$c_3(x)$	$c_2(x)$	$c_1(x)$
1	8	6	3	4
2	10	9	4	6
3	11	11	7	8
4	12	13	11	13
5	18	15	18	16

Как и в предыдущем примере начинаем анализ с последнего предприятия. Индекс «1» соответствует последнему предприятию, а индекс «4» – первому. Для  $n=1$  прибыль проставлена в последней колонке.

Для  $n=2$

$$\begin{aligned} f_2(0) &= \max[c_2(0)+f_1(0)] = 0 && \text{при } x_2(0)=0, \\ f_2(1) &= \max[c_2(1)+f_1(0), c_2(0)+f_1(1)] = \max[3+0, 0+4] = 4 && \text{при } x_2(1)=0, \\ f_2(2) &= \max[c_2(2)+f_1(0), c_2(1)+f_1(1), c_2(0)+f_1(2)] = \\ &= \max[4+0, 3+4, 0+6] = 7 && \text{при } x_2(2)=1, \\ f_2(3) &= \max[c_2(3)+f_1(0), c_2(2)+f_1(1), c_2(1)+f_1(2), c_2(0)+f_1(3)] = \\ &= \max[7+0, 4+4, 3+6, 0+8] = 9 && \text{при } x_2(3)=1, \\ f_2(4) &= \max[c_2(4)+f_1(0), c_2(3)+f_1(1), c_2(2)+f_1(2), c_2(1)+f_1(3), c_2(0)+f_1(4)] = \\ &= \max[11+0, 7+4, 4+6, 3+8, 0+13] = 13 && \text{при } x_2(4)=0, \\ f_2(5) &= \max[c_2(5)+f_1(0), c_2(4)+f_1(1), c_2(3)+f_1(2), c_2(2)+f_1(3), c_2(1)+f_1(4), c_2(0)+ \\ &+ f_1(5)] = \max[18+0, 11+4, 7+6, 4+8, 3+13, 0+16] = 18 && \text{при } x_2(5)=5. \end{aligned}$$

Для  $n=3$

$$\begin{aligned} f_3(0) &= \max[c_3(0)+f_2(0)] = 0 && \text{при } x_3(0)=0, \\ f_3(1) &= \max[c_3(1)+f_2(0), c_3(0)+f_2(1)] = \max[6+0, 0+4,] = 6 && \text{при } x_3(1)=1, \\ f_3(2) &= \max[c_3(2)+f_2(0), c_3(1)+f_2(1), c_3(0)+f_2(2)] = \\ &= \max[9+0, 6+4, 0+7] = 10 && \text{при } x_3(2)=1, \\ f_3(3) &= \max[c_3(3)+f_2(0), c_3(2)+f_2(1), c_3(1)+f_2(2), c_3(0)+f_2(3)] = \\ &= \max[11+0, 9+4, 6+7, 0+9] = 13 && \text{при } x_3(3)=1 \text{ или } 2, \\ f_3(4) &= \max[c_3(4)+f_2(0), c_3(3)+f_2(1), c_3(2)+f_2(2), c_3(1)+f_2(3), c_3(0)+f_2(4)] = \\ &= \max[13+0, 11+4, 9+7, 6+9, 0+13] = 16 && \text{при } x_3(4)=2, \\ f_3(5) &= \max[c_3(5)+f_2(0), c_3(4)+f_2(1), c_3(3)+f_2(2), c_3(2)+f_2(3), c_3(1)+f_2(4), c_3(0)+ \\ &+ f_2(5)] = \max[15+0, 13+4, 11+7, 9+9, 6+13, 0+18] = 19 && \text{при } x_3(5)=1. \end{aligned}$$

И, наконец, для  $n=4$

$$\begin{aligned} f_4(0) &= \max[c_4(0)+f_3(0)] = 0 && \text{при } x_4(0)=0, \\ f_4(1) &= \max[c_4(1)+f_3(0), c_4(0)+f_3(1)] = \max[8+0, 0+6,] = 8 && \text{при } x_4(1)=1, \\ f_4(2) &= \max[c_4(2)+f_3(0), c_4(1)+f_3(1), c_4(0)+f_3(2)] = \\ &= \max[10+0, 8+6, 0+10] = 14 && \text{при } x_4(2)=1, \\ f_4(3) &= \max[c_4(3)+f_3(0), c_4(2)+f_3(1), c_4(1)+f_3(2), c_4(0)+f_3(3)] = \\ &= \max[11+0, 10+6, 8+10, 0+13] = 18 && \text{при } x_4(3)=1, \\ f_4(4) &= \max[c_4(4)+f_3(0), c_4(3)+f_3(1), c_4(2)+f_3(2), c_4(1)+f_3(3), c_4(0)+f_3(4)] = \\ &= \max[12+0, 11+6, 10+10, 8+13, 0+16] = 21 && \text{при } x_4(4)=1, \\ f_4(5) &= \max[c_4(5)+f_3(0), c_4(4)+f_3(1), c_4(3)+f_3(2), c_4(2)+f_3(3), c_4(1)+f_3(4), c_4(0)+ \\ &+ f_3(5)] = \max[18+0, 12+6, 11+10, 10+13, 8+16, 0+19] = 24 && \text{при } x_4(5)=1. \end{aligned}$$

Теперь соберем оптимальное решение (при последовательном рассмотрении всех состояний оптимальные переходы подчеркивались):

Для первого предприятия, когда  $s_4=5$ , видим, что  $x_4(5)=1$ , значит, первое предприятие получает 1 и остается  $s_3=s_4-x_4(5)=5-1=4$ . Находим лучшее размещение средств для второго предприятия (на третьем с конца шаге) при  $s_3=4$ . Это  $x_3(4)=2$ , остается  $s_2=s_3-x_3(4)=4-2=2$ . На втором (с конца) шаге

$x_2(2)=1$  и на последнее предприятие (первый с конца шаг) остается  $s_1 = s_2 - x_2(2) = 2 - 1 = 1$  и  $x_1(1) = 1$ .

Максимум суммарной прибыли равен 24 у.е.

#### 2.8.4. Динамическая задача управления запасами

Применим изложенный выше подход к решению простейшей задачи управления запасами.

**Пример 2.8.3.** Необходимо разработать такую календарную программу выпуска изделия на плановый период, состоящий из  $T$  временных отрезков, при которой общая сумма затрат на производство и на содержание запасов минимизируется при условии полного и своевременного удовлетворения спроса. Обозначим:

$d_n$  – спрос на отрезке  $n$  от конца;

$c_n(x, s)$  – затраты на отрезке  $n$ , связанные с выпуском  $x$  единиц изделия и с содержанием запасов, объем которых на конец отрезка равен  $s$  единиц. В этой системе обозначений подстрочный индекс «1» соответствует конечному, а « $T$ » – начальному состоянию.

Состояние системы в начале каждого отрезка определяется уровнем запасов, поэтому для принятия решения об объеме выпуска не нужно знать, каким образом достигнут этот уровень, т.е. опять же имеем систему без обратной связи.

Пусть  $f_n(s)$  – стоимость, отвечающая стратегии минимальных затрат на  $n$  оставшихся отрезках при уровне запасов  $s$  на начало  $n$ -го от конца отрезка;

$x_n(s)$  – объем выпуска, обеспечивающий достижение  $f_n(s)$ .

Пусть уровень запасов на конец планового периода равен нулю, тогда при уровне запасов  $s$  на начало последнего (1-го от конца) отрезка выпуск  $x_1(s) = d_1 - s$  и

$$f_1(s) = c_1(x, 0) = c_1(d_1 - s, 0), \quad s = 0, 1, \dots, d_1.$$

Заметим, что если начальный уровень запасов отрезка  $n$  равен  $s$ , а объем выпуска –  $x$ , то величина  $(s+x-d_n)$  – есть уровень запасов на конец данного отрезка, отсюда получаем общее рекуррентное соотношение в виде:

$$f_n(s) = \min_x [c_n(x, s+x-d_n) + f_{n-1}(s+x-d_n)], \quad n = 1, \dots, T, \quad s = 0, 1, \dots, d_1 + \dots + d_n.$$

Для упрощения вычислений предположим, что производственные мощности и складские площади ограничены, пусть  $x = 0, 1, \dots, 5$  и  $s = 0, 1, \dots, 4$ . Допустим также, что спрос и затраты постоянны во времени, и пусть  $d_n = 3$ , а  $c_n(x, s) = c(x) + hs$ , где первое слагаемое относится к производству, а второе определяется стоимостью содержания запасов (арендная плата за складские помещения, проценты за кредит для создания запасов, страховые взносы и собственно расходы по содержанию запасов). Пусть  $c(0) = 0$ ,  $c(1) = 15$ ,  $c(2) = 17$ ,  $c(3) = 19$ ,  $c(4) = 21$ ,  $c(5) = 23$ ;  $h = 1$ .

Для  $n=1$   $f_1(0)=c(3)=19$  при  $x_1(0)=3$ ,  
 $f_1(1)=c(2)=17$  при  $x_1(1)=2$ ,  
 $f_1(2)=c(1)=15$  при  $x_1(2)=1$ ,  
 $f_1(3)=c(0)=0$  при  $x_1(3)=0$ .

Для  $n=2$   $f_2(0)=\min[c(3)+0+f_1(0),c(4)+1+f_1(1),c(5)+2+f_1(2)]=$   
 $=\min[19+19,21+1+17,23+2+15]=38$  при  $x_2(0)=3$ ,  
 $f_2(1)=\min[c(2)+0+f_1(0),c(3)+1+f_1(1),c(4)+2+f_1(2),c(5)+3+f_1(3)]=$   
 $=\min[17+19,19+1+17,21+2+15,23+3+0]=26$  при  $x_2(1)=5$ ,  
 $f_2(2)=\min[c(1)+0+f_1(0),c(2)+1+f_1(1),c(3)+2+f_1(2),c(4)+3+f_1(3)]=$   
 $=\min[15+19,17+1+17,19+2+15,21+3+0]=24$  при  $x_2(2)=4$ ,  
 $f_2(3)=\min[c(0)+0+f_1(0),c(1)+1+f_1(1),c(2)+2+f_1(2),c(3)+3+f_1(3)]=$   
 $=\min[0+19,15+1+17,17+2+15,19+3+0]=19$  при  $x_2(3)=0$ ,  
 $f_2(4)=\min[c(0)+1+f_1(1),c(1)+2+f_1(2),c(2)+3+f_1(3)]=$   
 $=\min[0+1+17,15+2+15,17+3+0]=18$  при  $x_2(4)=0$ .

Для  $n=3$   $f_3(0)=\min[c(3)+0+f_2(0),c(4)+1+f_2(1),c(5)+2+f_2(2)]=$   
 $=\min[19+38,21+1+26,23+2+24]=48$  при  $x_3(0)=4$ ,  
 $f_3(1)=\min[c(2)+0+f_2(0),c(3)+1+f_2(1),c(4)+2+f_2(2),c(5)+3+f_2(3)]=$   
 $=\min[17+38,19+1+26,21+2+24,23+3+19]=45$  при  $x_3(1)=5$ ,  
 $f_3(2)=\min[c(1)+f_2(0),c(2)+1+f_2(1),c(3)+2+f_2(2),c(4)+3+f_2(3),c(5)+4+f_2(4)]=$   
 $=\min[15+38,18+26,21+24,24+19,23+4+18]=43$  при  $x_3(2)=4$ ,  
 $f_3(3)=\min[c(0)+0+f_2(0),c(1)+1+f_2(1),c(2)+2+f_2(2),c(3)+3+f_2(3),c(4)+4+f_2(4)]=$   
 $=\min[0+38,16+26,19+24,22+19,25+18]=38$  при  $x_3(3)=0$ ,  
 $f_3(4)=\min[c(0)+1+f_2(1),c(1)+2+f_2(2),c(2)+3+f_2(3),c(3)+4+f_2(4)]=$   
 $=\min[1+26,17+24,20+19,23+18]=27$  при  $x_3(4)=0$ .

И, наконец, для  $n=4$   
 $f_4(0)=\min[c(3)+0+f_3(0),c(4)+1+f_3(1),c(5)+2+f_3(2)]=$   
 $=\min[19+48,21+1+45,23+2+43]=67$  при  $x_4(0)=3$  или  $4$ ,  
 $f_4(1)=\min[c(2)+0+f_3(0),c(3)+1+f_3(1),c(4)+2+f_3(2),c(5)+3+f_3(3)]=$   
 $=\min[17+48,19+1+46,21+2+43,23+3+38]=64$  при  $x_4(1)=5$ ,  
 $f_4(2)=\min[c(1)+f_3(0),c(2)+1+f_3(1),c(3)+2+f_3(2),c(4)+3+f_3(3),c(5)+4+f_3(4)]=$   
 $=\min[15+48,18+45,21+43,24+38,23+4+27]=54$  при  $x_4(2)=5$ ,  
 $f_4(3)=\min[c(0)+0+f_3(0),c(1)+1+f_3(1),c(2)+2+f_3(2),c(3)+3+f_3(3),c(4)+4+f_3(4)]=$   
 $=\min[0+48,16+45,19+43,22+38,25+27]=48$  при  $x_4(3)=0$ ,  
 $f_4(4)=\min[c(0)+1+f_3(1),c(1)+2+f_3(2),c(2)+3+f_3(3),c(3)+4+f_3(4)]=$   
 $=\min[1+45,17+43,20+38,23+27]=46$  при  $x_4(4)=0$ .

Сведем результаты вычислений в таблицу 2.8.2.

Таблица 2.8.2

	n=1		n=2		n=3		n=4		n=5		n=6		n=7		n=8	
	$x_1$	$f_1$	$x_2$	$f_2$	$x_3$	$f_3$	$x_4$	$f_4$	$x_5$	$f_5$	$x_6$	$f_6$	$x_7$	$f_7$	$x_8$	$f_8$
0	3	19	3	38	4	48	3,4	67	5	79	4	96	3,4	115	5	127
1	2	17	5	26	5	45	5	64	5	74	5	93	5	106	5	123
2	1	15	4	24	4	43	5	54	4	72	4	91	5	102	4	120
3	0	0	0	19	0	38	0	48	0	67	0	79	0	96	0	115
4			0	18	0	27	0	46	0	65	0	75	0	94	0	107

Читателю предоставляем возможность проверить результаты вычислений для  $n = 5 \div 8$ . Теперь, задаваясь различным уровнем запасов на начало планового периода, можно определить оптимальные стратегии для любого  $T$  от 1 до 8. Так, например, если исходный уровень запасов на начало планового периода равен нулю, то оптимальный календарный план при  $T=4$  будет:

$$x_4(0)=3, x_3(0)=4, x_2(1)=5, x_1(3)=0 \quad \text{или}$$

$$x_4(0)=4, x_3(1)=5, x_2(3)=0, x_1(0)=3$$

и минимальная общая сумма затрат составит 67.

Пусть  $T=8$ , тогда минимальная общая сумма затрат составит 127 и  $x_8(0)=5$ , останется на следующий отрезок  $5-3=2$ , имеем  $x_7(2)=5$ , значит на следующий отрезок останется  $2+5-3=4$  и  $x_6(4)=0$ , останется  $4-3=1$  и  $x_5(1)=5$ , останется  $1+5-3=3$ ,  $x_4(3)=0$ , останется  $3-3=0$ ,  $x_3(0)=4$ , останется  $4-3=1$ ,  $x_2(1)=5$ , останется  $1+5-3=3$  и  $x_1(3)=0$ .

В таблицу 2.8.3 сведем оптимальные стратегии (планы выпуска) для плановых периодов длительностью  $T$  и начальным уровнем запасов равным нулю.

Обратим внимание на  $T=4$ . Здесь два оптимальных решения, дающих минимальные затраты 67. При  $T=7$  имеем три решения с одинаковым значением целевой функции 115.

Таблица 2.8.3

Плано- вый пе- риод Т	n=8 янв	n=7 фев	n=6 мар	n=5 апр	n=4 май	n=3 июн	n=2 июл	n=1 авг	Общая сумма затрат	Средне- месячные затраты
1	3								19	19
2	3	3							38	19
3	4	5	0						48	16
4	3	4	5	0					67	16.75
	4	5	0	3						
5	5	5	0	5	0				79	15.8
6	4	5	0	4	5	0			96	16
7	3	4	5	0	4	5	0		115	16.43
	4	5	0	3	4	5	0			
8	4	5	0	4	5	0	3		127	15.9
	5	5	0	5	0	4	5	0		

Анализ оптимальных вариантов производственной программы, приведенных в табл. 2.8.3, свидетельствует о том, что январский выпуск поначалу возрастает с ростом Т, а затем колеблется около 5, аналогично, среднемесячные затраты испытывают колебания (при минимальном их значении 15.8). Проводя подобный анализ для следующих месяцев (при достаточно большом Т), получим оптимальное решение для бесконечного периода планирования. В условиях настоящего примера таким решением будет повторение производственного цикла (5,5,0,5,0,...) при среднемесячных затратах 15.8. (вычисления опускаем).

Приведем общую оценку отличительных особенностей метода динамического программирования. В его основе лежит разбиение задачи с многими ограничениями и большим числом переменных на последовательность шагов, на каждом из которых решается оптимизационная задача меньшей размерности, т.е. задача сводится к следующему виду:

1) Управляемые переменные и соответствующие ограничения группируются по шагам, и многошаговый процесс принятия решений исследуется в определенной последовательности.

2) Для выбора оптимальных значений переменных на рассматриваемом шаге используется значение состояния только на данном шаге.

3) Решение, принимаемое при заданном текущем состоянии системы, оказывает прогнозируемое влияние на состояние системы на последующем шаге.

4) Оптимальность текущего решения оценивается в терминах прогнозируемого экономического эффекта для рассматриваемого шага и всех последующих шагов.

### 2.8.5. Стохастическое динамическое программирование

В рассмотренных примерах управляемые переменные, а также переменные состояния и шага принимали только целочисленные значения. (Задачи такого рода называют задачами *дискретного программирования*). Кроме того, на результаты и переходы из одного состояния в другое не оказывали влияния случайные факторы. Учет случайного характера параметров модели есть предмет анализа *стохастического динамического программирования*.

Рассмотрим небольшой пример, иллюстрирующий основные идеи и методы стохастического динамического программирования.

#### **Пример 2.8.4.** Задача садовника.

Предположим, что каждый год почва может находиться в одном из трех состояний: хорошем (1), удовлетворительном (2) или плохом (3). Пусть  $k=1$  и  $2$  – две возможные стратегии поведения садовника: не удобрять или удобрять. Оптимальное поведение садовника определяется такой стратегией, при которой он получает наибольший ожидаемый доход через  $N$  лет. Обозначим  $p_{ij}(k)$  – вероятность перехода почвы из состояния  $i$  в состояние  $j$  при применении садовником стратегии  $k$ .

$$\text{Пусть } \{p_{ij}(1)\} = \begin{vmatrix} 0.2 & 0.5 & 0.3 \\ 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad \{p_{ij}(2)\} = \begin{vmatrix} 0.3 & 0.6 & 0.1 \\ 0.1 & 0.6 & 0.3 \\ 0.05 & 0.4 & 0.55 \end{vmatrix}$$

Поясним суть приведенных данных:

Если садовник не применяет удобрения ( $k=1$ ), то при хорошем состоянии почвы (строка 1) вероятность ее перехода в хорошее состояние – 0.2, в удовлетворительное – 0.5 и в плохое – 0.3. При плохом состоянии (строка 3) с вероятностью 1 почва остается плохой.

Если садовник применяет удобрения ( $k=2$ ), то при хорошем состоянии почвы (строка 1) вероятность ее перехода в хорошее состояние – 0.3, в удовлетворительное – 0.6 и в плохое – 0.1. При плохом состоянии (строка 3) с вероятностью 0.05 почва станет хорошей, с вероятностью 0.4 удовлетворительной и с вероятностью 0.55 останется плохой.

Обозначим  $r_{ij}(k)$  – доход (или убыток), который получит садовник за одногодичный период, если почва перейдет из состояния  $i$  в состояние  $j$  при применении садовником стратегии  $k$ .

$$\text{Пусть } \{r_{ij}(1)\} = \begin{vmatrix} 7 & 6 & 3 \\ 0 & 5 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}, \quad \{r_{ij}(2)\} = \begin{vmatrix} 6 & 5 & -1 \\ 7 & 4 & 0 \\ 6 & 3 & -2 \end{vmatrix}$$

Поясним суть приведенных данных:

Если садовник не применяет удобрения ( $k=1$ ), то при переходе из хорошего состояния почвы (строка 1) в хорошее доход составит 7 единиц, в удовлетворительное – 6 и в плохое – 3. При переходе из плохого состояния (строка 3, вспомним, что в этом случае с вероятностью 1 почва остается плохой) доход составит –1 (убыток).

Если садовник применяет удобрения ( $k=2$ ), то при переходе из хорошего состояния почвы (строка 1) в хорошее доход составит 6, в удовлетворительное – 5 и в плохое – убыток в размере 1 (не в коня корм). При переходе из плохого состояния (строка 3) в хорошее доход составит 6, в удовлетворительное – 3 и в плохое – убыток 2.

Обозначим  $v_i(k)$  – ожидаемый доход, обусловленный одним переходом из состояния  $i$  при стратегии  $k$ , тогда

$$v_i(k) = \sum_j p_{ij}(k) r_{ij}(k).$$

Если удобрения не применяются ( $k=1$ ), тогда

$$v_1(1) = 0.2 \times 7 + 0.5 \times 6 + 0.3 \times 3 = 5.3,$$

$$v_2(1) = 0 \times 0 + 0.5 \times 5 + 0.5 \times 1 = 3,$$

$$v_3(1) = 0 \times 0 + 0 \times 0 + 1 \times (-1) = -1.$$

При использовании удобрений ( $k=2$ ) имеем

$$v_1(2) = 0.3 \times 6 + 0.6 \times 5 + 0.1 \times (-1) = 4.7,$$

$$v_2(2) = 0.1 \times 7 + 0.6 \times 4 + 0.3 \times 0 = 3.1,$$

$$v_3(2) = 0.05 \times 6 + 0.4 \times 3 + 0.55 \times (-2) = 0.4.$$

Как и прежде будем анализировать плановый период с конца, обозначим  $f_n(i)$  – оптимальный *ожидаемый* доход за  $n$  лет до конца периода, тогда рекуррентные соотношения примут вид:

$$f_1(i) = \max_k \{ v_i(k) \},$$

$$f_n(i) = \max_k \{ v_i(k) + \sum_j p_{ij}(k) f_{n-1}(j) \}, \quad n=2,3,\dots,N. \quad (2.8.4)$$

Проведем вычисления при  $N=4$  (таблицы 2.8.4– 2.8.7).

Таблица. 2.8.4

i	n=1		Оптимальное решение	
	k=1	k=2	$f_1(i)$	$k^*$
1	5.3	4.7	5.3	1
2	3	3.1	3.1	2
3	-1	0.4	0.4	2

n=2

Таблица. 2.8.5

i	$v_i(k)+p_{i1}(k)f_1(1)+p_{i2}(k)f_1(2)+p_{i3}(k)f_1(3)$		Оптимальное решение	
	k=1	k=2	$f_2(i)$	$k^*$
1	$5.3+.2\times 5.3+.5\times 3.1+.3\times .4=8.03$	$4.7+.3\times 5.3+.6\times 3.1+.1\times .4=8.19$	8.19	2
2	$3+0\times 5.3+.5\times 3.1+.5\times .4=4.75$	$3.1+.1\times 5.3+.6\times 3.1+.3\times .4=5.61$	5.61	2
3	$-1+0\times 5.3+0\times 3.1+1\times 0.4=-0.6$	$.4+.05\times 5.3+.4\times 3.1+.55\times .4=2.13$	2.13	2

n=3

Таблица. 2.8.6

i	$v_i(k)+p_{i1}(k)f_2(1)+p_{i2}(k)f_2(2)+p_{i3}(k)f_2(3)$		Оптимальное решение	
	k=1	k=2	$f_3(i)$	$k^*$
1	$5.3+.2\times 8.19+.5\times 5.6+.3\times 2.13=10.38$	$4.7+.3\times 8.19+.6\times 5.61+.1\times 2.13=10.74$	10.74	2
2	$3+0\times 8.19+.5\times 5.61+.5\times 2.13=6.87$	$3.1+.1\times 8.19+.6\times 5.61+.3\times 2.13=7.92$	7.92	2
3	$-1+0\times 8.19+0\times 5.61+1\times 2.13=1.13$	$.4+.05\times 8.19+.4\times 5.6+.55\times 2.13=4.23$	4.23	2

n=4

Таблица. 2.8.7

	$v_i(k)+p_{i1}(k)f_3(1)+p_{i2}(k)f_3(2)+p_{i3}(k)f_3(3)$		Оптимальное решение	
	k=1	k=2	$f_4(i)$	$k^*$
1	$5.3+.2\times 10.74+.5\times 7.92+.3\times 4.23=12.68$	$4.7+.3\times 10.74+.6\times 7.92+.1\times 4.23=13.097$	13.10	2
2	$3+0\times 10.74+.5\times 7.92+.5\times 4.23=9.075$	$3.1+.1\times 10.74+.6\times 7.92+.3\times 4.23=10.195$	10.19	2
3	$-1+0\times 10.74+0\times 7.92+1\times 4.23=3.23$	$.4+.05\times 10.74+.4\times 7.92+.55\times 4.23=6.4315$	6.43	2

Из оптимального решения следует, что в 1-й, 2-й и 3-й годы садовник должен применять удобрения ( $k^*=2$ ) при любом состоянии почвы, а в 4-й год ( $n=1$ ) садовнику следует применять удобрения только при условии, что состояние почвы удовлетворительное или плохое. Суммарный ожидаемый доход за четыре года составит  $f_4(1)=13.10$  при хорошем состоянии почвы в первый год,  $f_4(2)=10.19$  при удовлетворительном состоянии и  $f_4(3)=6.43$  при плохом состоянии.

Приведенный выше метод решения задачи называют еще методом **итераций по стратегиям**.

Задачу садовника можно обобщить в двух отношениях. Во-первых, переходные вероятности и значения дохода не обязательно одни и те же в любой год; в этом случае они являются функциями  $n$ -го этапа:  $p_{ij}(k,n)$  и  $r_{ij}(k,n)$ . Во-вторых, можно использовать коэффициент дисконтирования ожидаемых доходов, вследствие чего значения  $f_N(i)$  будут представлять собой *приведенные величины* ожидаемых доходов по всем этапам. Если  $\alpha$  – годовой коэффициент дисконтирования, вычисляемый по формуле  $\alpha=1/(1+t)$ , где  $t$  – годовая норма процента, то рекуррентное соотношение (4.9.4) преобразуется к виду:

$$f_n(i)=\max_k\{v_i(k)+\alpha\sum_j p_{ij}(k)f_{n-1}(j)\}, \quad n=2,3,\dots,N. \quad (2.8.5)$$

*Упражнение.* Решите задачу садовника при коэффициенте дисконтирования  $\alpha=0.6$ . (ответ приводится в таблице 2.8.8).

Таблица. 2.8.8

i	n=1		n=2		n=3		n=4	
	$f_1(i)$	$k^*$	$f_2(i)$	$k^*$	$f_3(i)$	$k^*$	$f_4(i)$	$k^*$
1	5.3	1	6.94	1	7.77	1	8.26	1
2	3.1	2	4.61	2	5.43	2	5.92	2
3	0.4	2	1.44	2	2.19	2	2.66	2

Заметим, что использование коэффициента дисконтирования приводит к другим оптимальным стратегиям. В данном случае при хорошем состоянии почвы удобрения не требуются в течение всех четырех лет.

Для определения оптимальной *долгосрочной* стратегии применяют два метода. Первый метод основан на переборе *всех* возможных *стационарных* стратегий управления и может быть использован при их малом числе. Второй метод (итераций по стратегиям) более эффективен в том смысле, что определяет оптимальную стратегию за малое число итераций. Идея метода заключается в использовании соотношения (2.8.4) при  $n \rightarrow \infty$ .

Итак, задача стохастического динамического программирования включает в себя матрицу переходных вероятностей системы из состояния  $i$  в момент времени  $t_{n-1}$  в состояние  $j$  в момент  $t_n$ . Матрица переходных вероятностей совместно с исходными вероятностями состояний полностью определяет **марковскую цепь**. Можно задачу стохастического динамического программирования (Марковскую задачу принятия решений) сформулировать как задачу линейного программирования (см. раздел 2.2), однако в вычислительном отношении метод итераций по стратегиям более эффективен. Для задач с  $K$  альтернативами решений на каждом шаге и  $N$  состояниями соответствующая модель линейного программирования включает  $(N+1)$  ограничений и  $NK$  переменных.

### 2.8.6. Задачи износа и замены оборудования

Основными задачами теории замен являются прогноз затрат, связанных с обновлением оборудования, и выработка наиболее экономичной страте-

гии замен. В зависимости от характера оборудования процессы замен делятся на два класса. Первый связан с оборудованием, которое, устаревая в процессе эксплуатации, становится менее производительным физически вследствие износа или морально в результате появления новых, более совершенных машин (сюда относятся, например, металлорежущие станки, автомобили и т.д.). Эксплуатация устаревшего оборудования связана с ростом производственных затрат, удлинением времени простоя, увеличением числа отказов и длительности ремонта и т.д. Вместе с тем замена старого оборудования новым также сопряжена с расходами. Необходимо определить такой срок службы оборудования, при котором экономия за счет приобретения нового оборудования начинает превышать компенсацию его первоначальной стоимости. При аренде оборудования необходимо учитывать подобные соображения: при увеличении срока аренды уменьшается арендная плата в единицу времени, зато возрастают эксплуатационные расходы.

Второй класс задач связан с оборудованием со случайной длительностью срока службы (например, лампы освещения, элементы микросхем). При решении задач второго класса приходится определять, какие именно единицы оборудования следует заменить, и как часто следует проводить замену с тем, чтобы минимизировать общие затраты. Если замену оборудования производить лишь после его выхода из строя, то при минимуме затрат на обновление возрастают расходы, связанные с простоями, тогда как замена деталей до их поломки приводит к высокой стоимости оборудования, но зато к малым затратам на некомплектность. Базой для решения этих задач является наличие закона распределения вероятностей повреждения (отказа) оборудования в зависимости от срока его службы, для чего должны быть задействованы методы математической статистики.

Пусть  $c_i$  – затраты на приобретение (включаются в  $c_1$ ) и эксплуатацию оборудования в период  $i$ . Здесь учитываются только эксплуатационные затраты, которые изменяются с ростом срока службы. Тогда период  $n$ , после которого должна быть произведена замена, определяется из следующих соображений:

1. Если издержки в следующем периоде ниже *средней* величины прошлых затрат, то оборудование заменять не следует.
2. Если же издержки в следующем периоде превосходят величину средних затрат, то оборудование следует заменить.

Т.е. должны выполняться следующие неравенства

$$c_n < (c_1 + c_2 + \dots + c_{n-1}) / (n - 1), \quad (2.8.6)$$

$$c_{n+1} > (c_1 + c_2 + \dots + c_n) / n. \quad (2.8.7)$$

**Пример 2.8.5.** Пусть расходы, связанные с приобретением и заменой оборудования, представлены в табл. 2.8.9.

Таблица 2.8.9

Период	затраты	средние
1	50	50
2	10	30
3	20	26,7**
4	30	27,5
5	40	30
6	50	33,3

В третьей колонке вычисляем средние значения затрат и видим, что замена оборудования должна производиться в третий период, т.к.

$$c_3 = 20 < (c_1 + c_2)/2 = 30, \text{ а } c_4 = 30 > (c_1 + c_2 + c_3)/3 = 26,7.$$

Цена денег, ввиду наличия процентов на капитал, меняется со временем. Проведем расчеты с учетом коэффициента дисконтирования. Пусть  $r$  – учетный процент в течение каждого периода, тогда обозначим  $d = 1/(1+r/100)$ . В правой части неравенств (2.8.6) – (2.8.7) средние затраты заменяются на *средневзвешенные* затраты:

$$c_n < (c_1 + c_2 d + \dots + c_{n-1} d^{n-2}) / (1 + d + \dots + d^{n-2}), \quad (2.8.8)$$

$$c_{n+1} > (c_1 + c_2 d + \dots + c_n d^{n-1}) / (1 + d + \dots + d^{n-1}). \quad (2.8.9)$$

**Пример 2.8.6.** Пусть расходы, связанные с приобретением и заменой оборудования, аналогичны предыдущему примеру и  $r = 5\%$ . В колонке 3 табл. 2.8.10 вычисляем средневзвешенные затраты ( $d = 0,952$ ):

В данном случае замена оборудования должна производиться также в третий период, т.к. соотношения (2.8.8) – (2.8.9) выполняются для  $n=3$ . В обоих примерах мы предполагали, что затраты на эксплуатацию стареющего оборудования возрастали со временем.

Таблица 2.8.10

Период $i$	Затраты $c_i$	Средне- взвешенные
1	50	50
2	10	30.49
3	20	27.16*
4	30	28.82
5	40	30.02
6	50	32.96

Рассмотрим теперь задачу замены оборудования как многошаговый процесс динамического программирования.

Пусть величина  $c_{ij}$  представляет собой сумму покупной цены и ожидаемых расходов на ремонт и обслуживание оборудования, приобретенного в начале года  $i$ , за вычетом остаточной стоимости этого оборудования на начало года  $j$ .

Примем следующее обозначение:

$f_i$  – величина затрат, соответствующая стратегии замены, минимизирующей эти затраты в интервалах  $i, i+1, \dots, n$ , в предположении, что новое оборудование приобретается в год  $i$ .

Тогда для нахождения оптимальной стратегии нам необходимо вычислить  $f_i$  (минимальные затраты и соответствующую стратегию с первого шага), пользуясь следующим рекуррентным соотношением:

$$f_{n+1} = 0, \quad f_i = \min_{j>i} \{c_{ij} + f_j\}, \quad i=n, n-1, \dots, 1. \quad (2.8.10)$$

Предположим, что затраты, отвечающие некоторой стратегии замены, включают две составляющие:

$r_{ik}$  – стоимость замены оборудования возраста  $k$  на интервале  $i$  за вычетом его остаточной стоимости;

$r_{ik}$  – стоимость эксплуатации оборудования возраста  $k$  на интервале  $i$ .

Пусть  $f_i(k)$  – стратегия, минимизирующая затраты на интервалах  $i, i+1, \dots, n$ , при условии, что в начале интервала  $i$  возраст оборудования составляет  $k$  лет.

Если оптимальное решение состоит в сохранении оборудования в интервале  $i$ , то

$$f_i(k) = r_{ik+1} + f_{i+1}(k+1),$$

но если оптимальное решение сводится к его замене, то

$$f_i(k) = p_{ik} + r_{i1} + f_{i+1}(1).$$

Таким образом, имеем

$$f_i(k) = \min \{r_{ik+1} + f_{i+1}(k+1), p_{ik} + r_{i1} + f_{i+1}(1)\}, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (2.8.11)$$

где  $f_{n+1}(k) = 0$  для всех  $k$ . Пусть  $K$  – возможный срок службы оборудования.

Мы планируем на  $n$  лет, поэтому начало  $(n+1)$ -го периода соответствует концу нашего планового периода.

Нахождение оптимального решения заключается в вычислении  $f_1(k_0)$ , где  $k_0$  – возраст оборудования на начало планового периода. Если в это время рассматриваемая единица оборудования отсутствует, то нет смысла говорить о его сохранении при  $i=1$ , а решение о замене есть просто покупка нового оборудования.

**Пример 2.8.7.** Необходимо составить план замены оборудования на пять лет при условии отсутствия его в начале первого года, прогнозируемые затраты сведены в таблицы 2.8.11 и 2.8.12.

Таблица 2.8.11

Значения $r_{ik}$					
	1	2	3	4	5
1	20				
2	18	36			
3	16	32	68		
4	14	28	52	120	
5	10	20	40	85	200

Таблица 2.8.12

Значения $p_{ik}$				
	1	2	3	4
1	100			
2	55			
3	60	80		
4	65	85	105	
5	70	90	110	115

Пустые клетки в таблицах образовались из того факта, что в начале планового периода оборудования нет, оно только приобретается, поэтому нет нужды прогнозировать некоторые затраты, например, в год 3 не будет оборудования с возрастом 4, или на начало любого года не будет оборудования с пятилетним возрастом, поэтому колонка 5 в табл. 2.8.12 отсутствует.

Применим рекуррентное соотношение (2.8.11):

$f_6(k) = 0$  для всех  $k$ .

$i=5$  (в начале года 5 возраст не может быть больше 4):

$$f_5(4) = \min\{r_{55} + f_6(5), p_{54} + r_{51} + f_6(1)\} = \min\{200+0, 115+10+0\} = 125,$$

$$f_5(3) = \min\{r_{54} + f_6(4), p_{53} + r_{51} + f_6(1)\} = \min\{85+0, 110+10+0\} = 85,$$

$$f_5(2) = \min\{r_{53} + f_6(3), p_{52} + r_{51} + f_6(1)\} = \min\{\mathbf{40+0}, 90+10+0\} = \mathbf{40},$$

$$f_5(1) = \min\{r_{52} + f_6(2), p_{51} + r_{51} + f_6(1)\} = \min\{20+0, 70+10+0\} = 20.$$

$i=4$  (в начале года 4 возраст не может быть больше 3):

$$f_4(3) = \min\{r_{44} + f_5(4), p_{43} + r_{41} + f_5(1)\} = \min\{120+125, 105+14+20\} = 139,$$

$$f_4(2) = \min\{r_{43} + f_5(3), p_{42} + r_{41} + f_5(1)\} = \min\{52+85, 85+14+20\} = 119,$$

$$f_4(1) = \min\{r_{42} + f_5(2), p_{41} + r_{41} + f_5(1)\} = \min\{\mathbf{28+40}, 65+14+20\} = \mathbf{68}.$$

$i=3$  (в начале года 3 возраст не может быть больше 2):

$$f_3(2) = \min\{r_{33} + f_4(3), p_{32} + r_{31} + f_4(1)\} = \min\{68+139, \mathbf{80+16+68}\} = \mathbf{164},$$

$$f_3(1) = \min\{r_{32} + f_4(2), p_{31} + r_{31} + f_4(1)\} = \min\{32+119, 60+16+68\} = 144.$$

$i=2$  (в начале года 2 возраст не может быть больше 1):

$$f_2(1) = \min\{r_{22} + f_3(2), p_{21} + r_{21} + f_3(1)\} = \min\{\mathbf{36+164}, 55+18+144\} = 200.$$

Т.к. по условию примера в начале первого года мы приобретаем новое оборудование, то

$$f_1(0) = p_{11} + r_{11} + f_2(1) = 100+20+200=320.$$

Таким образом, оптимальная стратегия заключается в следующем:

В начале третьего года заменяем оборудование, купленное в начале первого года, и эксплуатируем его до конца планового периода.

Выше мы рассматривали *детерминированный* вариант задачи о замене оборудования, где с индексом  $k$  была связана продолжительность *нормально* эксплуатируемого устройства. В стохастическом варианте задачи восстановления допускается, что устройство может выйти из строя еще до запланированного момента замены (тогда оно заменяется в следующий за поломкой момент времени).

Пусть нам известны  $p_j$  – вероятности того, что поломка оборудования произойдет в  $j$ -й момент его использования ( $j < k$ );

$r_j$  – стоимость эксплуатации исправного оборудования в течение  $j$ -го интервала его использования;

$s_j$  – дополнительный ущерб, обусловленный преждевременной поломкой оборудования в интервале  $j$ .

Пусть  $r_1$  включает первоначальную стоимость устройства, и вышедшее из строя оборудование полностью обесценивается (например, лампы, сгоревшие электромоторы и т.п.).

Оптимальной будет являться стратегия, минимизирующая математическое ожидание затрат, в составе которых должны быть учтены:

- средние затраты во все моменты восстановления в случаях, когда оборудование выйдет из строя раньше запланированного момента  $k$ ;
- средние затраты во все моменты восстановления в случаях, когда оборудование не выйдет из строя до запланированного момента  $k$ ;
- ожидаемые эксплуатационные затраты в период между текущим и очередным моментами восстановления.

Следовательно, в результате надлежащего обобщения соотношений (2.8.10) и (2.8.11) получаем

$$f_i = \min_{k=1,2,\dots,K} \left\{ \sum_{j=1}^{k-1} f_{i+j} p_j + f_{i+k} (1 - \sum_{j=1}^{k-1} p_j) + R_k \right\}, \quad i=1,2,\dots,n, \quad f_{n+1}=0, \quad (2.8.12)$$

где первое слагаемое соответствует математическому ожиданию затрат, связанных с преждевременной заменой, второе слагаемое есть произведение минимальных затрат с периода  $i+k$  и далее, умноженное на вероятность того, что оборудование нормально доработает до этого периода. Третье слагаемое, отражающее эксплуатационные затраты, можно представить следующим образом:

$$R_k = r_1 + r_2(1 - p_1) + r_3(1 - p_1 - p_2) + \dots + r_k(1 - \sum_{j=1}^{k-1} p_j) + \sum_{j=1}^{k-1} s_j p_j. \quad (2.8.13)$$

Эти затраты складываются из затрат первого года эксплуатации оборудования плюс затраты второго года, умноженные на вероятность того, что оно не вышло из строя в первом году, плюс затраты третьего года, умноженные на вероятность того, что оно не вышло из строя в первых двух годах, и так далее до  $k$ -го интервала, плюс к этому математическое ожидание ущерба от преждевременной поломки до  $k$ -го интервала.

В силу громоздкости формул (2.8.12), (2.8.13) мы не будем приводить числовой пример, хотя с использованием компьютера вычисления не представляют сложности.

Рассмотрим стохастическую задачу замены оборудования для **неограниченного планового периода**. В этом случае априорно допускается, что оптимальной является *стационарная* стратегия (каждый раз замена производится через  $k$ -й промежуток времени). Формула для определения оптимальной стратегии тогда существенно упрощается:

$$f = \min_{k=1,2,\dots,K} \{ R_k / E_k \}, \quad (2.8.14)$$

где  $E_k$  есть среднее значение сроков замены оборудования,

$$E_k = \sum_{j=1}^{k-1} j p_j + k(1 - \sum_{j=1}^{k-1} p_j). \quad (2.8.15)$$

Заметим, что выражение, стоящее в фигурных скобках в (2.8.14), определяет ожидаемые затраты за один отрезок планового периода, и мы приходим к методике определения оптимальной стратегии замены оборудования, рассмотренной нами в самом начале (пример 2.8.5).

**Пример 2.8.8.** Данные за первые пять лет неограниченного планового периода сосредоточены в табл.2.8.13 (колонки 2 – 4).

Таблица 2.8.13

k	$p_k$	$r_k$	$s_k$	$R_k$	$E_k$	$R_k/E_k$
1	2	3	4	5	6	7
1	1/4	100	20	100	1	100
2	0	7	60	114	1.75	65.14
3	1/4	20	180	129	2.5	<b>51.6</b>
4	0	20	200	184	3	61.33
5	1/2	56	200	212	3.5	60.57

Значения величин в колонке 5 вычисляем по формуле 2.8.13:

$$R_1 = r_1 = 100,$$

$$R_2 = r_1 + r_2(1 - p_1) + s_1p_1 = 100 + 12 \times 3/4 + 20 \times 1/4 = 114,$$

$$R_3 = r_1 + r_2(1 - p_1) + r_3(1 - p_1 - p_2) + s_1p_1 + s_2p_2 = 114 + 20 \times 3/4 = 129,$$

$$R_4 = 129 + 20 \times 1/2 + 180 \times 1/4 = 184,$$

$$R_5 = 184 + 56 \times 1/2 = 212.$$

Значения величин в колонке 6 вычисляем по формуле 2.8.15:

$$E_1 = 1,$$

$$E_2 = 1 \times p_1 + 2(1 - p_1) = 1/4 + 2 \times 3/4 = 1.75,$$

$$E_3 = 1 \times p_1 + 2 \times p_2 + 3(1 - p_1 - p_2) = 1/4 + 2 \times 0 + 3 \times 3/4 = 2.5,$$

$$E_4 = 1 \times p_1 + 2 \times p_2 + 3 \times p_3 + 4 \times (1 - 1/4 - 1/4) = 1/4 + 3/4 + 4 \times 1/2 = 3,$$

$$E_5 = 1 \times p_1 + 2 \times p_2 + 3 \times p_3 + 4 \times p_4 + 5 \times (1/2) = 1/4 + 3/4 + 5 \times 1/2 = 3.5.$$

Вычисляем отношение в колонке 7 и находим минимум, ему соответствует  $k=3$ , это оптимальное значение планового срока замены оборудования.

Из полученного результата видно, насколько дорого обходятся ошибки при неправильном учете фактора неопределенности. Так, например, если использовать критерий  $R_k/k$ , то решение будет  $k=5$ , а если в качестве критерия взять  $\sum_j(r_j/k)$ , то решение будет  $k=4$ .

В этих случаях ожидаемые затраты за один интервал превышают оптимальное значение почти на 20%.

(упражнение: проверить вышесказанное самостоятельно).

При учете коэффициента дисконтирования (пусть, как и прежде  $r$  – учетный процент в течение каждого периода и  $d=1/(1+r/100)$ ) формулы (2.8.12) – (2.8.13) для *конечного* планового периода принимают вид:

$$f_i = \min_{k=1,2,\dots,K} \left\{ \sum_{j=1}^{k-1} d^j f_{i+j} p_j + d^k f_{i+k} (1 - \sum_{j=1}^{k-1} p_j) + R_k \right\}, \quad i=1,2,\dots,n, \quad f_{n+1}=0, \quad (2.8.16)$$

$$R_k = r_1 + d^1 r_2 (1 - p_1) + d^2 r_3 (1 - p_1 - p_2) + \dots + d^{k-1} r_k (1 - \sum_{j=1}^{k-1} p_j) + \sum_{j=1}^{k-1} d^{j-1} s_j p_j. \quad (2.8.17)$$

Для неограниченного планового периода с коэффициентом дисконтирования  $d$  формулы (2.8.14) – (2.8.15) принимают вид:

$$f = \min_{k=1,2,\dots,K} \{ R_k / (1 - E_{kd}) \}, \quad (2.8.18)$$

где  $E_{kd}$  есть среднее значение коэффициента дисконтирования

$$E_{kd} = \sum_{j=1}^{k-1} d^j p_j + d^k (1 - \sum_{j=1}^{k-1} p_j). \quad (2.8.19)$$

Здесь  $f$  представляет собой математическое ожидание дисконтированных затрат при неограниченном плановом периоде в случае, когда реализуется оптимальная стратегия.

### 2.8.7. Примеры задач динамического программирования

**Пример 1.** Для двух предприятий выделено  $a$  единиц средств. Как распределить все средства в течение 4 лет, чтобы доход был наибольшим, если известно, что доход от  $x$  единиц средств, вложенных в первое предприятие, равен  $f_1(x)$ , а доход от  $y$  единиц средств, вложенных во второе предприятие, равен  $f_2(y)$ . Остаток средств к концу года составляет  $g_1(x)$  для первого предприятия и  $g_2(y)$  для второго предприятия.

$$a=1000, \quad f_1=3x, \quad g_1=0,1x; \quad f_2=2y; \quad g_2=0,5y.$$

**РЕШЕНИЕ.** Процесс распределения средств разобьем на 4 этапа – по соответствующим годам.

Обозначим  $a_k = x_k + y_k$  – средства, которые распределяются на  $k$  –ом шаге как сумма средств по предприятиям.

Суммарный доход от обоих предприятий на  $k$  –ом шаге:

$$z_k = f_1(x_k) + f_2(a_k - x_k) = 3x_k + 2(a_k - x_k) = 2a_k + x_k.$$

Остаток средств от обоих предприятий на  $k$  –ом шаге:

$$a_{k+1} = g_1(x_k) + g_2(a_k - x_k) = 0,1x_k + 0,5(a_k - x_k) = 0,5a_k - 0,4x_k.$$

Обозначим  $z^*_k(a_k)$  – максимальный доход, полученный от распределения средства  $a_k$  между двумя предприятиями с  $k$ -го шага до конца рассматриваемого периода.

Рекуррентные соотношения Беллмана для этих функций

$$z^*_4(a_4) = \max_{0 \leq x_4 \leq a_4} \{ 2a_4 + x_4 \},$$

$$z^*_k(a_k) = \max_{0 \leq x_k \leq a_k} \{ 2a_k + x_k + z^*_{k+1}(0,5a_k - 0,4x_k) \}.$$

Проведем оптимизацию, начиная с четвертого шага:

**4-й шаг.**

Оптимальный доход равен:

$$z^*_4(a_4) = a_4 + x_4 = 3a_4,$$

т.к. линейная возрастающая функция достигает максимума в конце рассматриваемого промежутка, т.е. при  $x_4 = a_4$ .

**3-й шаг.**

$$z^*_3(a_3) = a_3 + x_3 + 3(0,5a_3 - 0,4x_3) = a_3 - 0,2x_3 = a_3$$

т.к. линейная убывающая функция достигает максимума в начале рассматриваемого промежутка, т.е. при  $x_3 = 0$ .

**2-й шаг.**

$$z^*_2(a_2) = a_2 + x_2 + 3,5(0,5a_2 - 0,4x_2) = a_2 - 0,4x_2 = a_2,$$

т.к. линейная убывающая функция достигает максимума в начале рассматриваемого промежутка, т.е. при  $x_2 = 0$ .

**1-й шаг.**

$$z^*_1(a_1) = a_1 + x_1 + 3,75(0,5a_1 - 0,4x_1) = a_1 - 0,5x_1 = a_1,$$

т.к. линейная убывающая функция достигает максимума в начале рассматриваемого промежутка, т.е. при  $x_1 = 0$ .

Результаты оптимизации:

$$z^*_1(a_1) = 3,875a_1, x^*_1 = 0,$$

$$z^*_2(a_1) = 3,75a_2, \quad x^*_2 = 0,$$

$$z^*_3(a_3) = 3,5a_3, \quad x^*_3 = 0,$$

$$z^*_4(a_4) = 3a_4, \quad x^*_4 = a_4.$$

Определим количественное распределение средств по годам:

Т.к.  $a_1 = a = 1000$ ,  $x^*_1 = 0$ , получаем  $a_2 = 0,5a_1 - 0,41x^*_1 = 500$ . Далее аналогично:

$$x^*_2 = 0, \quad a_3 = 0,5a_2 - 0,4x^*_2 = 250,$$

$$x^*_3 = 0, \quad a_4 = 0,5a_3 - 0,4x^*_3 = 125,$$

$$x^*_4 = a_4 = 125.$$

Представим распределение средств в виде таблицы:

предприятие	год			
	1	2	3	4
1	0	0	0	125
2	1000	500	250	0

При таком распределении средств за 4 года будет получен доход, равный

$$z^*_1(a_1) = 3,875 \cdot 1000 = 3875.$$

**Пример 2.** Строительный подрядчик оценивает минимальные потребности в рабочей силе на каждую из последующих пяти недель следующим образом, 6,5,3,6,8 рабочих соответственно. Содержание избытка рабочей силы обходится подрядчику в 300 долларов за одного рабочего в неделю. А наем рабочей силы на протяжении одной недели обходится 400 долларов плюс 200 долларов за одного рабочего в неделю. Каждому уволенному рабочему выплачивается выходное пособие в размере 100 долларов. Найти оптимальное решение задачи.

Решение.

1. Этап  $i$  представляется порядковым номером недели,  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ .
2. Вариантом решения на  $i$ -том этапе являются значения  $x_i$  – количество работающих на протяжении  $i$ -той недели.
3. Состояние на  $i$ -том этапе является  $x_{i-1}$  – количество работающих на протяжении  $(i-1)$ -й неделе.

Рекуррентное уравнение динамического программирования представляется в виде:

$C_1$  – затраты, связанные с содержанием избытка;

$C_2$  – затраты, связанные с наймом;

$C_3$  – затраты, связанные с увольнением.

$$f_i(x_{i-1}) = \min \{C_1(x_i - b_i) + C_2(x_i - x_{i-1}) + C_3(x_{i-1} - x_i) + f_{i+1}(x_i)\},$$

$$C_1(x_i - b_i) = 300(x_i - b_i),$$

$$b_i = \{6, 5, 3, 6, 8\},$$

$$C_2(x_i - x_{i-1}) = 400 + 200(x_i - x_{i-1}),$$

$$C_3(x_{i-1} - x_i) = 100(x_{i-1} - x_i).$$

Проведем оптимизацию, начиная с пятого этапа:

Этап 5.

$$x_5 = 8$$

$$x_4 \in \{6, 7, 8\}$$

$C_1(x_5 - 8) + C_2(x_5 - x_4) + C_3(x_4 - x_5)$ Оптимальное решение			
$x_4$	$x_5 = 8$	$f_5(x_4)$	$x_5^*$
6	$300 \cdot 0 + 400 + 200 \cdot 2 + 100 \cdot (-2) = 600$	600	8
7	$300 \cdot 0 + 400 + 200 \cdot 1 + 100 \cdot (-1) = 500$	500	8
8	$300 \cdot 0 + 400 + 200 \cdot 0 + 100 \cdot 0 = 400$	400	8

Этап 4.

$$x_4 \in \{6, 7, 8\}$$

$$x_3 \in \{3, 4, 5, 6\}$$

$C_1(x_4 - 6) + C_2(x_4 - x_3) + C_3(x_3 - x_4) + f_5(x_4)$ Оптимальное решение					
$x_3$	$x_4 = 6$	$x_4 = 7$	$x_4 = 8$	$f_4(x_3)$	$x_4^*$
3	1300	1600	1900	1300	6
4	1200	1500	1800	1200	6
5	1100	1400	1700	1100	6
6	1000	1300	1600	1000	6

Этап 3.

$$x_3 \in \{3, 4, 5, 6\}$$

$$x_2 = 5$$

$C_1(x_3 - 3) + C_2(x_3 - x_2) + C_3(x_2 - x_3) + f_4(x_3)$ Оптимальное решение						
$x_2$	$x_3 = 3$	$x_3 = 4$	$x_3 = 5$	$x_3 = 6$	$f_3(x_2)$	$x_3^*$
5	1500	1800	2100	2400	1500	3

Этап 2.

$$x_2 = 5$$

$$x_1 \in 6, 7, 8$$

$$C_1(x_2 - 5) + C_2(x_2 - x_1) + C_3(x_1 - x_2) + f_3(x_2)$$
 Оптимальное решение

$x_1$	$x_2 = 5$	$f_2(x_1)$	$x_2^*$
6	$300 \cdot 0 + 400 + 200 \cdot (-1) + 100 + 1500 = 1800$	1800	5
7	$300 \cdot 0 + 400 + 200 \cdot (-2) + 200 + 1500 = 1700$	1700	5
8	$300 \cdot 0 + 400 + 200 \cdot (-3) + 300 + 1500 = 1600$	1600	5

Этап 1.

$$x_1 \in 6, 7, 8$$

$$x_0 \in 0$$

$$C_1(x_1 - 6) + C_2(x_1 - x_0) + C_3(x_0 - x_1) + f_2(x_1)$$
 Оптимальное решение

$x_0$	$x_1 = 6$	$x_1 = 7$	$x_1 = 8$	$f_1(x_0)$	$x_1^*$
0	2800	3100	3400	3800	6

Оптимальное решение определяется последовательно таким образом:

$$x_0 = 0 \rightarrow x_1^* = 6 \rightarrow x_2^* = 5 \rightarrow x_3^* = 3 \rightarrow x_4^* = 6 \rightarrow x_5^* = 8$$

Номер недели	Минимум раб.силы	Кол-во реально работающих	Решение
1	6	6	Нанять 6 рабочих
2	5	5	Уволить 1 рабочего
3	3	3	Уволить 2 рабочих
4	6	6	Нанять 3 рабочих
5	8	8	Нанять 2 рабочих

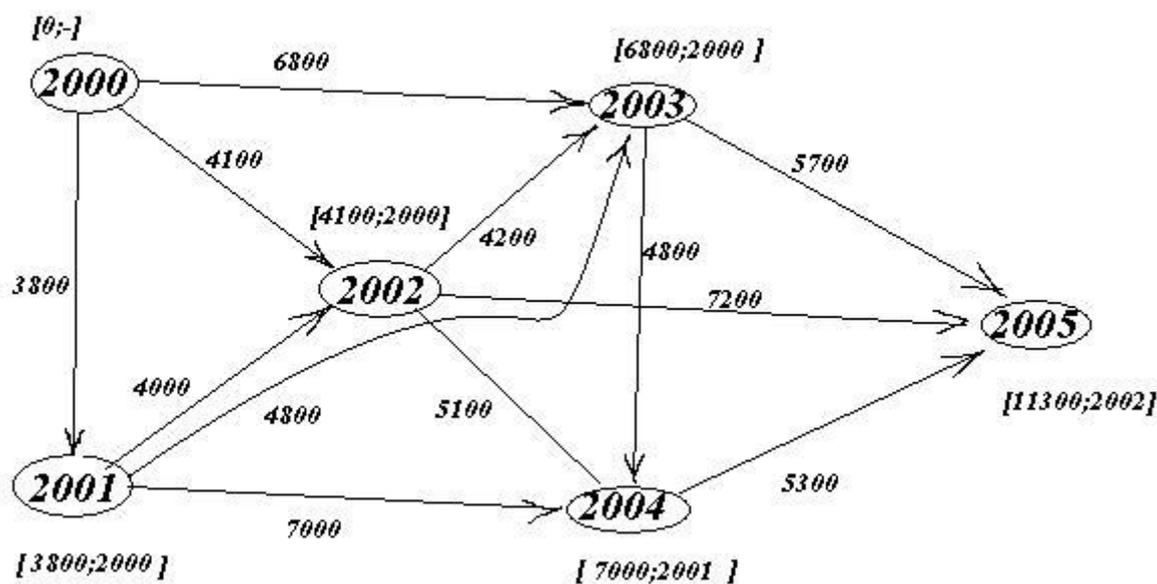
Вывод: в результате решения задачи получилось, что на первой неделе надо нанять 6 человек, на второй уволить 1 рабочего, на третьей уволить 2 рабочих, на четвертой нанять троих рабочих и на пятой нанять двоих рабочих.

**Пример 3.** Компания по прокату автомобилей разрабатывает план по обновлению парка своих машин на следующие пять лет. Каждый автомобиль должен проработать не менее 2-х и не более 4-х лет. В следующей таблице приведена стоимость замены автомобиля в зависимости от года покупки и срока эксплуатации.

Год покупки	Стоимость замены в зависимости от срока эксплуатации		
	1	2	3
2000	3800	4100	6800
2001	4000	4800	7000
2002	4200	5100	7200
2003	4800	5700	-
2004	5300	-	-

### Решение

Сведем задачу к задаче нахождения кратчайшего пути в сети:



Получаем кратчайший путь 2000→2002→2005.

К наименьшим затратам приведет замена автомобиля в 2002 и 2005 годах.

### Вопросы для самопроверки

1. Как поставить общую задачу динамического программирования?
2. Как формулируется задача динамического программирования и в чем ее отличие от задач линейного программирования?
3. В чем заключается особенности математической модели ДП?
4. Что лежит в основе метода ДП?
5. Сформулируйте задачу определения кратчайших расстояний по заданной сети. На сколько этапов разбивается задача? Сколько шагов содержится в каждом этапе и в чем суть этапа и шага?
6. Что является переменной управления и переменной состояния в задаче выбора оптимальной стратегии обновления оборудования?
7. Запишите функциональные уравнения Беллмана, используемые на каждом шаге управления в задаче выбора оптимальной стратегии обновления оборудования.

8. Запишите математическую модель оптимального распределения инвестиций и рекуррентное соотношение Беллмана для ее реализации.

9. Что такое принцип оптимальности и как записываются уравнения Беллмана?

## 2.9. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

### 2.9.1. Понятие многокритериальности

Математические методы, описанные выше, преимущественно ориентированны на решение задач организационно-экономического содержания, в которых может быть обоснован и выбран один единственный критерий оптимизации. Спектр подобных задач достаточно широк. Наиболее адекватной областью их применения являются текущие задачи внутрифирменного управления. Однако при анализе крупномасштабных проблем, таких как задачи стратегического планирования, задачи отраслевого, регионального уровня и т.п., затрагивающих разнообразные интересы участников планируемой операции, возникает необходимость оценки вариантов решений по нескольким критериям. Такого рода задачи называются *многокритериальными*. Примеров подобных задач можно приводить множество, но относительно обстоятельное описание примера займет много места именно в силу сложности существа многокритериальной задачи.

Поэтому ограничимся лишь схематической иллюстрацией. Например, необходимо разработать программу реорганизации некоторого предприятия в целях *повышения эффективности его деятельности*. На словах формулировка цели реорганизации звучит весьма привлекательно, но это всего лишь лозунг – призыв к «светлому будущему». А что конкретно имеется в виду под эффективностью в данном случае? Под углом зрения какого критерия надо выбирать решение? С одной стороны, нам хотелось бы обратить в максимум объем производимых работ (услуг)  $V$ . Желательно также было бы получить максимальный эффект  $D$ . Что касается себестоимости  $S$ , то ее хотелось бы обратить в минимум, а производительность труда  $\Pi$  – в максимум. При обдумывании задачи может возникнуть еще ряд дополнительных критериев.

Такая множественность показателей эффективности (ряда количественных показателей  $F_1, F_2, \dots$ , из которых одни желательно обратить в максимум, а другие в минимум), называемая *многокритериальностью*, характерна для многих крупномасштабных задач исследования операций.

Спрашивается, можно ли найти решение, одновременно удовлетворяющее всем этим требованиям? Со всей откровенностью ответим: в общем случае нет. Решение, обращающее в максимум один какой-то показатель, как правило, не обращает ни в максимум, ни в минимум другие. Поэтому, как уже отмечалось ранее, часто применяемая формулировка: «достигнуть максимального эффекта при минимальных затратах» представля-

ет собой не более чем фразу и при научном анализе должна быть отброшена.

Как же быть в случае, если все же приходится оценивать эффективность операции по нескольким показателям?

Люди, малоискушенные в исследовании операций, обычно торопятся свести многокритериальную задачу к однокритериальной: составляют некоторую комбинированную функцию от всех показателей и рассматривают ее как один, «обобщенный» показатель эффективности, по которому и оптимизируется решение. Часто такой обобщенный показатель имеет вид дроби, в числителе которой стоят все величины, увеличение которых желательно, а в знаменателе – те, увеличение которых нежелательно. Например, продуктивность и доход – в числителе, время выполнения и расходы – в знаменателе и т.п.

Такой способ объединения нескольких показателей в один не может быть рекомендован, и вот почему: он основан на неявном допущении, что недостаток в одном показателе всегда может быть скомпенсирован за счет другого; например, малая продуктивность – за счет низкой стоимости и т.д. Это, как правило, несправедливо.

Вспомним «критерий для оценки человека», полушутя полусерьезно предложенный когда-то Львом Толстым. Он имеет вид дроби, в числителе которой стоят действительные достоинства человека, а в знаменателе – его мнение о себе. С первого взгляда такой подход может показаться логичным. Но представим себе человека, имеющего незначительные достоинства, но совсем не обладающего самомнением. По критерию Л.И. Толстого такой человек должен иметь бесконечно большую ценность, с чем уж никак согласиться нельзя...

К подобным парадоксальным выводам может привести (и нередко приводит) использование обобщенного показателя в виде дроби, где, как говорят, все, что «за здравие», – в числителе, все, что «за упокой», – в знаменателе.

Нередко применяется и другой, чуть более замысловатый, способ составления обобщенного показателя эффективности – он представляет собой «взвешенную сумму» частных показателей, в которую каждый из них  $F_i$  входит с некоторым «весом»  $a_i$ , отражающим его важность:

$$F = a_1F_1 + a_2F_2 + \dots \quad (2.9.1)$$

(для тех показателей, которые желательно увеличить, веса берутся положительными, уменьшить – отрицательными).

При произвольном назначении весов  $a_1, a_2, \dots$  этот способ ничем не лучше предыдущего (разве тем, что обобщенный критерий не обращается в бесконечность). Его сторонники ссылаются на то, что и человек, принимая компромиссное решение, тоже мысленно взвешивает все «за» и «против», приписывая больший вес более важным для него факторам. Это, быть может, и так, но, по-видимому, «весовые коэффициенты», с которы-

ми входят в расчет разные показатели, не постоянны, а меняются в зависимости от ситуации.

Поясним сказанное элементарным примером. Человек выходит из дому, чтобы ехать на работу, боится опоздать, и размышляет: каким транспортом воспользоваться? Трамвай ходит часто, но идет долго; автобус – быстрее, но с большими интервалами. Можно взять такси, но это дорого.

Перед нами типичная (намеренно упрощенная) задача исследования операций с двумя критериями (показателями). Первый – среднее ожидаемое время опоздания  $T$ , которое хотелось бы сделать минимальным. Второй – ожидаемая стоимость проезда  $S$ ; ее тоже желательно сделать минимальной. Но эти два требования, как мы знаем, несовместимы, поэтому человек должен принять компромиссное, приемлемое по обоим критериям, решение. Возможно, он при этом подсознательно взвешивает все «за» и «против», пользуясь чем-то вроде обобщенного показателя:

$$F = a_1 T + a_2 S \Rightarrow \min. \quad (2.9.2)$$

Но беда в том, что весовые коэффициенты  $a_1$ ,  $a_2$  никак нельзя считать постоянными. Они зависят как от самих величин  $T$  и  $S$ , так и от обстановки. Например, если человек недавно уже получил выговор за опоздание, коэффициент при  $T$  у него, вероятно, увеличится, а на другой день после полочки, вероятно, уменьшится коэффициент при  $S$ . Если же назначать (как это обычно и делается) веса  $a_1$ ,  $a_2$  произвольно, то, по существу, столь же произвольным будет и вытекающее из них «оптимальное» решение.

Здесь мы встречаемся с очень типичным для подобных ситуаций приемом – «переносом произвола из одной инстанции в другую». Простой выбор компромиссного решения на основе мысленного сопоставления всех «за» и «против» каждого решения кажется слишком произвольным, недостаточно «научным». А вот маневрирование с формулой, включающей (пусть столь же произвольно назначенные) коэффициенты  $a_1, a_2, \dots$ , – совсем другое дело. Это уже «наука»! По существу же никакой науки тут нет, и нечего обманывать самих себя.

Нечего надеяться полностью избавиться от субъективности в задачах, связанных с выбором решений. Даже в простейших, однокритериальных задачах она неизбежно присутствует, проявляясь хотя бы в выборе показателя эффективности и математической модели явления. Тем более неизбежна субъективность (грубо говоря, произвол) при выборе решения в многокритериальной задаче. Правда, бывают редкие случаи, когда достаточно ознакомиться со значениями всех показателей для каждого варианта, чтобы сразу стало ясно, какой из них выбрать. Представим себе, например, что некий вариант решения имеет преимущество над другими *по всем показателям*; ясно, что именно его следует предпочесть. Но гораздо чаще встречаются случаи, когда ситуация неочевидна: один из показателей тянет в одну сторону, другой – в другую. При этом всегда полезно провести

дополнительные расчеты, пользуясь, быть может, даже формулами типа (2.9.1), но, не доверяя им слепо, а сохраняя к ним критическое отношение.

Выходит, что математический аппарат не может нам ничем помочь при решении многокритериальных задач? Отнюдь нет, он может помочь, и очень существенно. Прежде всего, он позволяет решать *прямые* задачи исследования операций, т.е. для любого решения  $x$  находить значения показателей эффективности  $F_1, F_2, \dots$ , сколько бы их не было (кстати, для прямых задач многокритериальность – не помеха. Под прямыми задачами Е.С.Вентцель[1] понимает задачи, которые отвечают на вопрос: что будет, если в заданных условиях принять некоторое решение  $x \in X$ ? Например, чему будет при этом равен показатель эффективности или их набор. Обратные задачи отвечают на вопрос: как выбрать решение  $x$ , для которого показатель эффективности  $F$  достигнет экстремального значения.). И, во-вторых, что особенно важно, он помогает «выбраковать» из множества возможных решений  $X$  заведомо неудачные, уступающие другим по всем критериям.

### 2.9.2. Оптимальность по Парето

Покажем, как это делается. Пусть имеется многокритериальная задача исследования операций с  $k$  критериями  $F_1, F_2, \dots, F_k$ . Для простоты предположим, что все эти величины желательно максимизировать. Пусть в составе множества возможных решений есть два решения  $x_1, x_2$  такие, что значения всех критериев  $F_1, F_2, \dots, F_k$  для первого решения больше или равны соответствующим критериям для второго решения, причем хотя бы один из них действительно *больше*. Тогда из состава множества  $X$  решение  $x_2$  вытесняется (говорят «доминируется») решением  $x_1$ .

В результате такой процедуры отбрасывания заведомо невыгодных решений во множестве  $X$  сохраняются только *эффективные* («по Парето» или «паретовские») решения, характерные тем, что ни для одного из них не существует доминирующего решения.

(Вильфредо Парето (1848-1923) – итальянский социолог и экономист).

Проиллюстрируем прием выделения паретовских решений на примере задачи с двумя критериями:  $F_1$  и  $F_2$  (оба требуется максимизировать). Множество  $X$  состоит из конечного числа  $n$  возможных решений  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Каждому решению соответствуют определенные значения показателей  $F_1, F_2$ ; будем изображать решение точкой на плоскости с координатами  $F_1, F_2$  и занумеруем точки соответственно номеру решения (рис. 2.9.1).

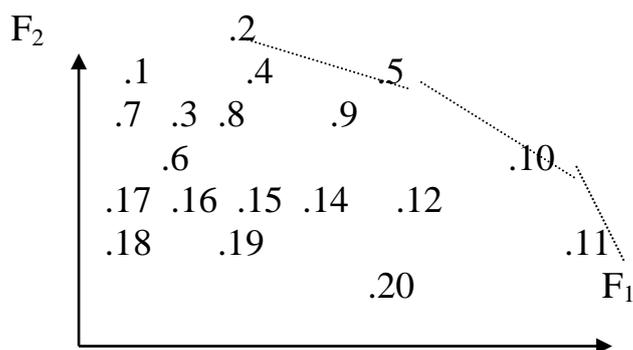


Рис. 2.9.1. Оптимальность по Парето

Очевидно, из всего множества  $X$  эффективными (доминирующими) будут только решения  $x_2, x_5, x_{10}, x_{11}$ , лежащие на правой верхней границе области возможных решений (см. точки, соединенные пунктиром), причем  $x_{11}$  – наилучшее по критерию  $F_1$ ,  $x_2$  – по критерию  $F_2$ . Дело лица, принимающего решение, выбрать тот вариант, который для него предпочтителен и «приемлем» по обоим критериям.

Аналогично строится множество эффективных решений и в случае, когда показателей не два, а больше (при этом геометрическая интерпретация теряет наглядность, но суть дела сохраняется).

Рассмотрим макроэкономическую модель Финляндии, построенную в 70-х годах. Качество решений оценивалось по четырем критериям:

$C_1$  – увеличение валового национального продукта (в %);

$C_2$  – уменьшение инфляции (в %);

$C_3$  – уменьшение безработицы (в %);

$C_4$  – уменьшение дефицита внешней торговли (млрд. фин. марок).

В табл.2.9.1 приведены три различных варианта экономической политики.

Таблица 2.9.1

Значения критериев вариантов экономической политики

Вариант решения	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
1	- 2,74	8,16	3,28	2,24
2	0,57	9,00	2,81	5,27
3	1,81	8,88	2,64	6,54
Наилучшие решения	7,18	8,16	1,88	1,21

В нижней строке табл.2.9.1 приведены наилучшие значения каждого из критериев, которые можно получить, если оптимизировать по одному критерию, не обращая внимания на другие. Наилучшие значения по всем критериям одновременно не достижимы. Легко видеть, что приведенные альтернативы являются точками множества Парето в четырехмерном пространстве критериев. Действительно, первый вариант дает наименьшее значение инфляции и дефицита внешней торговли, но отрицательный прирост ВВП и большую безработицу. Третий вариант лучший по росту ВВП

и уровню безработицы, но худший по дефициту внешней торговли. Эти противоречия отражают типичный характер вариантов многокритериальных решений.

Таким образом, область допустимых решений  $X$  может быть разбита на две непересекающиеся части:

– *область согласия*, в которой качество решения может быть улучшено одновременно по всем локальным критериям или без снижения уровня любого из критериев;

– *область компромиссов* (множество эффективных решений), в которой улучшение качества решения по одним локальным критериям приводит к ухудшению качества решения по другим.

Очевидно, что оптимальное решение может принадлежать только области компромиссов, так как в области согласия решение может и должно быть улучшено по соответствующим критериям. Множество эффективных решений легче обозримо, чем множество  $X$ . Что касается окончательного выбора решения, то он по-прежнему остается прерогативой человека. Только человек, с его непревзойденным умением решать неформальные задачи, принимать компромиссные решения (не строго-оптимальные, но приемлемые по ряду критериев) может взять на себя ответственность за окончательный выбор.

Однако сама процедура выбора решения, будучи повторена неоднократно, может послужить основой для выработки некоторых формальных правил, применяемых уже без участия человека. Речь идет о так называемых «эвристических» методах выбора решений. Предположим, что опытный менеджер (или, еще лучше, их группа) многократно выбирает компромиссное решение в многокритериальной задаче исследования операций, решаемой при разных условиях  $\alpha$ . Набирая статистику по результатам выбора, можно, например, разумным образом подобрать значения «весов»  $a_1, a_2, \dots$  в формуле (2.9.1), в общем случае зависящие от условий  $\alpha$  и самих показателей  $F_1, F_2, \dots$ , и воспользоваться таким обобщенным критерием для выбора решения, на этот раз уже автоматического, без участия человека. На это иногда приходится идти в случаях, когда времени на обдумывание компромиссного решения нет (например, в условиях боевых действий), или же в случае, когда выбор решения передается автоматизированной системе управления.

В некоторых случаях очень полезной оказывается процедура выбора решения в *диалоговом* (или *интерактивном*) режиме, когда компьютер, произведя расчеты, выдает лицу, управляющему операцией, значения показателей  $F_1, F_2, \dots$ , а это лицо, критически оценив ситуацию, вносит изменения в весовые коэффициенты (или иные параметры управляющего алгоритма) и расчеты повторяются.

Часто применяется на практике способ свести многокритериальную задачу к однокритериальной – это выделить один (главный) показатель  $F_1$  и

стремиться его обратить в максимум, а на все остальные  $F_2, F_3, \dots$  наложить только некоторые ограничения, потребовав, чтобы они были не меньше каких-то заданных  $f_2, f_3, \dots$ . Например, при оптимизации плана работы следственного управления можно потребовать, чтобы качество работы было максимальным (минимум возврата на доследование), план по раскрываемости – выполнен или перевыполнен, а затраты – не выше заданного уровня. При таком подходе все показатели, кроме одного – главного (качества работы), переводятся в разряд заданных условий  $\alpha$ . Некоторый произвол в назначении границ  $f_2, f_3, \dots$ , разумеется, при этом остается; поправки в эти границы тоже могут быть введены в диалоговом режиме.

Существует еще один путь построения компромиссного решения, который можно назвать *методом последовательных уступок*. Предположим, что показатели  $F_1, F_2, \dots$  расположены в порядке убывающей важности. Сначала ищется решение, обращающее в максимум первый (важнейший) показатель  $F_1 = F_1^*$ . Затем назначается, исходя из практических соображений, с учетом той точности, с которой нам известны входные данные, некоторая «уступка»  $\Delta F_1$ , которую мы согласны сделать для того, чтобы максимизировать второй показатель  $F_2$ . Наложим на показатель  $F_1$  ограничение: он должен быть не меньше, чем  $F_1^* - \Delta F_1$ , и при этом ограничении ищем решение, обращающее в максимум  $F_2$ . Далее снова назначаем «уступку»  $\Delta F_2$ , ценой которой можно максимизировать  $F_3$ , и т.д. Такой способ построения компромиссного решения хорош тем, что здесь сразу видно, ценой какой «уступки» в одном показателе приобретается выигрыш в другом и какова цена этого выигрыша.

Так или иначе, при любом способе ее постановки, задача обоснования решения по нескольким показателям остается не до конца формализованной, и окончательный выбор решения всегда определяется волевым актом *лица, принимающего решения* (ЛПР). Дело исследователя – предоставить в распоряжение ЛПР данные, помогающие ему сделать выбор не «вслепую», а с учетом преимуществ и недостатков каждого варианта решения.

### 2.9.3. Метод идеальной точки

Можно рекомендовать еще *метод идеальной точки*, который состоит в отыскании среди паретовских решений ближайшего к *точке утопии*, задаваемой ЛПР. Формулируется цель в виде желаемых значений показателей, и часто выбирается сочетание наилучших значений всех критериев  $F_1^*, F_2^*, \dots$  (обычно эта точка не реализуется при заданных ограничениях, поэтому ее и называют точкой утопии). Ближайшим считается решение  $x$ , обращающее в минимум сумму квадратов отклонений значений всех критериев  $F_i(x)$  от их наилучших значений  $F_1^*, F_2^*, \dots$

**Пример 2.9.1.** Пусть множество допустимых планов описывается системой неравенств:

$$\begin{cases} 0 \leq x \leq 4, \\ 0 \leq y \leq 2, \\ x + 2y \leq 6. \end{cases}$$

**Заданы две целевые функции**

$$F_1 = x + y + 2,$$

$$F_2 = x - y + 6,$$

которые необходимо максимизировать. На рис. 2.9.2 представлено множество возможных решений в пространстве критериев.

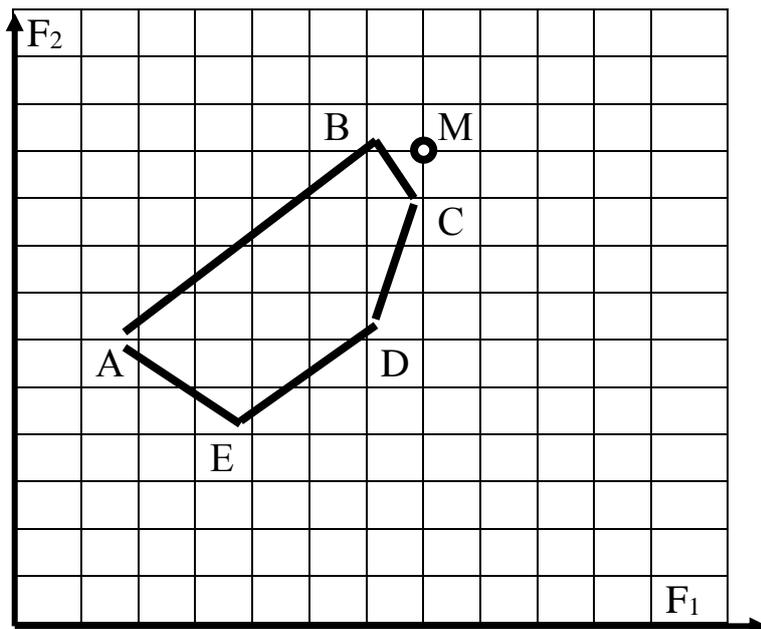


Рис. 2.9.2

Отрезок BC является множеством точек, оптимальных по Парето.

Действительно, в точке B  $F_2$  принимает максимальное значение  $F_2=10$  ( $F_1=6$ ), а в точке C  $F_1$  принимает максимальное значение  $F_1=7$  ( $F_2=9$ ).

Точка утопии M имеет координаты (7;10).

Идеальная точка – точка на отрезке BC, ближайшая к точке утопии M. Эта точка имеет координаты  $F_1=6.5$ ,  $F_2=9.5$ , следовательно

$$x + y + 2 = 6.5,$$

$$x - y + 6 = 9.5,$$

откуда  $x=4$ ,  $y=0.5$ .

#### 2.9.4. Принятие решений на основе метода анализа иерархий

Метод анализа иерархий (МАИ), предложенный Т. Саати в конце семидесятых годов прошлого века, так же относится к многокритериальным методам принятия решений. Его преимущество заключается в простоте используемой экспертизы, которая предполагает декомпозицию существующей проблемы на все более простые составляющие части. В резуль-

тате такой процедуры определяется относительная значимость исследуемых альтернатив для всех критериев, находящихся в иерархии, выражаемая численно в виде векторов приоритетов. Следует отметить, что получаемые таким образом оценки являются жесткими, поскольку измеряются в шкале отношений.

Существует ряд модификаций МАИ, которые определяются характером связей между критериями и альтернативами, расположенными на нижнем уровне иерархии, а также методами сравнения альтернатив.

Построение иерархии начинается с исследования проблемы. Далее строится собственно иерархия, включающая цель, расположенную в вершине, промежуточные уровни (например, критерии), и альтернативы, расположенные на нижнем уровне. На рис. 2.9.3 приведены три типовых варианта отображения одной иерархии.

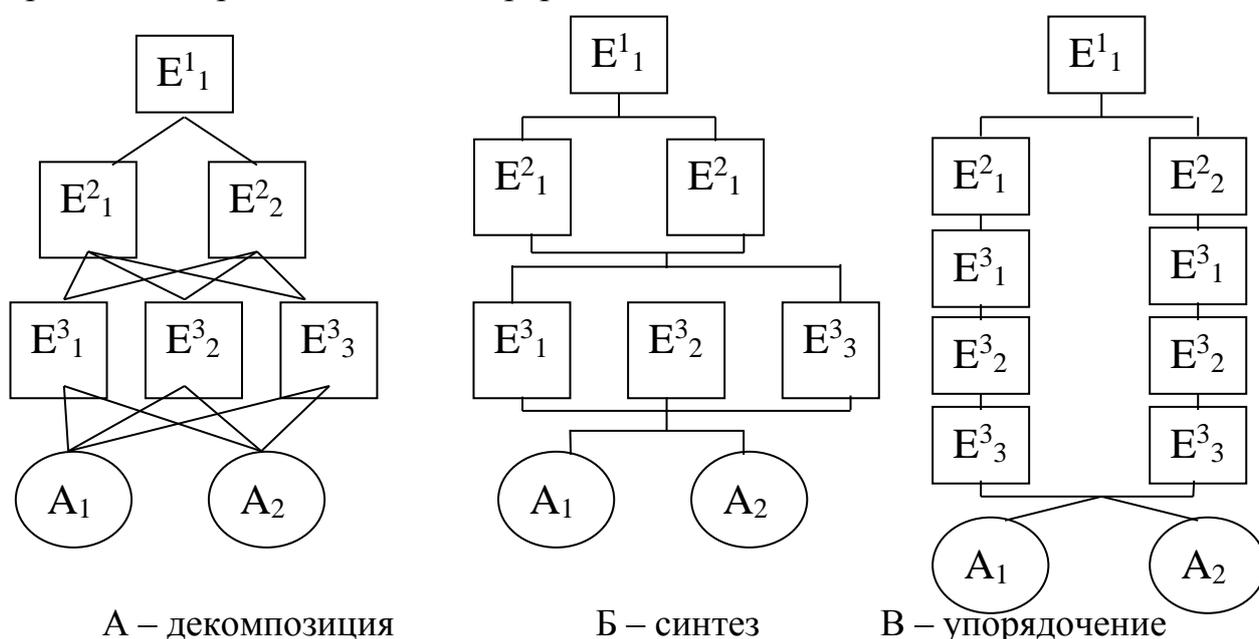


Рис. 2.9.3. Виды иерархии

Для установления относительной важности элементов иерархии используется шкала отношений (табл. 2.9.2), позволяющая численно оценить степень предпочтения одного сравниваемого объекта перед другим.

Таблица 2.9.2

Степень значимости $v_{ij}$	Определение	Объяснение
1	Одинаковая значимость	Два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели
3	Некоторое преобладание значимости одного действия над другими (слабая значимость)	Имеются некоторые соображения в пользу предпочтения одного из действий, но недостаточно убедительные

Степень значимости $v_{ij}$	Определение	Объяснение
5	Существенная или сильная значимость	Имеются надежные суждения или логические выводы для предпочтительности одного из действий
7	Очень сильная значимость	Существуют убедительные свидетельства в пользу одного действия перед другим
9	Абсолютная значимость	Степень предпочтительности устанавливается абсолютно
2,4,6,8	Промежуточные значения между двумя соседними суждениями	Для ситуации, когда необходимо компромиссное суждение
Обратные величины $1/v_{ij}$	Действию $j$ при сравнении с $i$ приписывается обратное значение	При сопоставлении двух действий в обратном порядке значение шкалы $v_{ij}$ приобретает обратную величину $1/v_{ij}$

При сравнении двух действий следует задавать следующие вопросы:

- ✓ Какой критерий важнее или имеет большее воздействие?
- ✓ Какая альтернатива является предпочтительнее?

После построения иерархии устанавливается метод сравнения ее элементов. Наиболее распространенным является метод попарного сравнения.

При его использовании сравнения проводятся в терминах доминирования одного элемента над другим и оцениваются с помощью девятибальной шкалы (табл.2.9.2) В результате строится множество матриц парных сравнений. Каждая матрица  $E$  имеет следующий вид:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

где  $a_{ij} = v_{ij}$  и  $a_{ji} = 1/a_{ij}$ ,  $n$  – порядок матрицы парных сравнений.

Исходя из этих условий вполне очевидно, что ЛПР выносит  $n(n-1)/2$  суждений.

Для каждой матрицы парных сравнений рассчитываются *собственные вектора* ( $W^E$ )- вектора приоритетов по следующему алгоритму:

- Вначале находим оценки компонент собственного вектора по строкам

$$E^i = \sqrt[n]{\prod_j a_{ij}} \quad (2.9.3)$$

- Полученный результат нормализуем

$$W_i^E = \frac{E^i}{\sum_i E^i} \quad (2.9.4)$$

Иногда используют более простой алгоритм, дающий приближенное значение собственного вектора:

нормализуется матрица  $E$ , путем деления всех ее элементов на сумму элементов каждого соответствующего столбца. Компоненты вектора  $W^E$  вычисляются как средние арифметические элементов строки нормализованной матрицы.

Соответственно, для каждой матрицы сравнений следует оценить:

- *максимальное собственное значение  $\lambda_{max}$*  по формуле

$$\lambda_{max} = e^T [E] W^E$$

где  $e^T$  – единичный транспонированный вектор;

$W^E$  – собственный вектор матрицы парных сравнений.

(матрица  $E$  справа умножается на вектор  $W^E$  и затем все компоненты полученного вектора складываются).

Аналогичный результат получим, если просуммируем элементы всех столбцов матрицы  $E$  и затем умножим скалярно полученный вектор на вектор приоритетов  $W^E$ .

- *однородность суждений* путем расчета  
– индекса согласованности  $ИС = (\lambda_{max} - n)/(n-1)$ ;

Индекс согласованности – количественная оценка противоречивости результатов сравнений. Противоречия в сравнениях возникают из-за субъективных ошибок экспертов. Чем меньше противоречий в сравнениях, тем меньше значение индекса согласованности.

– отношения согласованности  $ОС = ИС/СС$ , где  $СС$  – среднее значение (математическое ожидание) индекса согласованности случайным образом составленной матрицы парных сравнений. Приблизительно  $СС$  можно вычислять по формуле

$$СС = \frac{1.98(n-2)}{n}$$

Величина  $ОС$  должна быть порядка 10% или менее, чтобы быть приемлемой (в редких случаях до 15%). В противном случае следует перепроверить предоставленные суждения.

Если существует множество альтернатив  $A$  (например угроз), которые необходимо ранжировать по своей важности руководствуясь множеством критериев  $K$  (например, вероятность реализации угрозы, ценность потерянной информации, время восстановления ресурса, степень страдания имиджа организации и т.д.), то в этом случае отталкиваются от решения предыдущей задачи – получения результатов ранжирования множества альтернатив  $A$  по одному из критериев множества  $K$ .

Матрицы парных сравнений строятся для:

- сравнения относительной важности критериев на втором уровне ( $s=2$ ) по отношению к общей цели на первом уровне ( $s=1$ );
- сравнения относительной важности критериев – «потомков» уровня  $s(s=3\dots m$ , где  $m$  – номер уровня иерархии) по отношению к критерию – «родителю» уровня  $s-1$ );
- сравнения относительной важности каждой альтернативы по отношению к критериям предпоследнего уровня иерархии.

Поскольку мы можем иметь в иерархии несколько уровней, то к собственным векторам следует применять принцип иерархического синтеза, который заключается в последовательном определении векторов приоритетов альтернатив относительно элементов  $E_j^i$ , находящихся на всех иерархических уровнях, кроме предпоследнего. Здесь  $i$  – уровень иерархии,  $j$  – порядковый номер элемента на уровне. Вычисление векторов приоритетов осуществляется по направлению от нижних уровней к верхним с учетом конкретных связей между элементами, принадлежащих различным уровням.

Рассмотрим трехуровневую структуру альтернатив и критериев, приведенную на рис 2.9.4.

**Пример 2.9.2.** Рассматривается проблема выбора ботинок для сноуборда трех фирм Burton, ThirtyTwo, Salomon по четырем критериям: стоимость, жесткость, надежность и внешний вид.

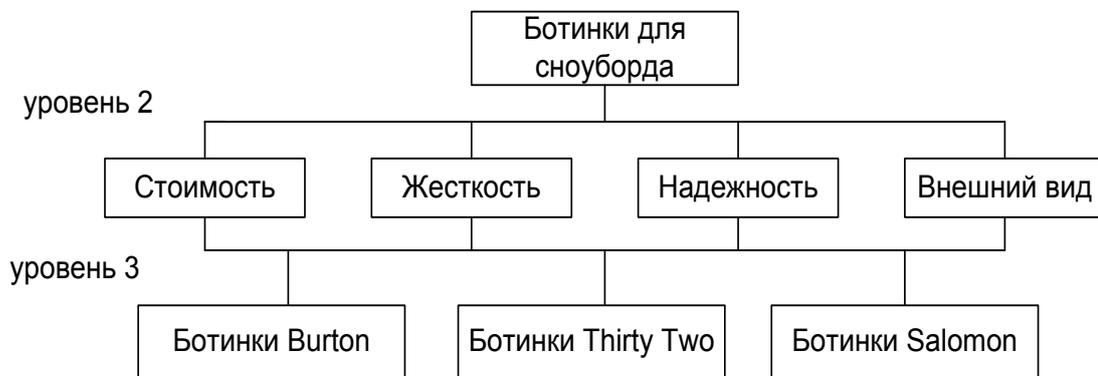


Рис. 2.9.4

Матрица парных сравнений  
Уровень 2

Ботинки	стоимость	жесткость	надежность	внешний вид
стоимость	1	5	2	1/3
жесткость	1/5	1	1/3	1/4
надежность	1/2	3	1	1/6
внешний вид	3	4	6	1

Воспользуемся упрощенной схемой вычисления  $\lambda_{max}$ .  
Нормализуем матрицу А

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 2 & 1/3 \\ 1/5 & 1 & 1/3 & 1/4 \\ 1/2 & 3 & 1 & 1/6 \\ 3 & 4 & 6 & 1 \end{pmatrix} N_A = \begin{pmatrix} 0,21 & 0,38 & 0,21 & 0,19 \\ 0,04 & 0,07 & 0,04 & 0,14 \\ 0,11 & 0,23 & 0,11 & 0,1 \\ 0,64 & 0,31 & 0,64 & 0,57 \end{pmatrix}$$

$$w_{\text{стоимость}} = (0,21 + 0,38 + 0,21 + 0,19) / 4 = 0,2475$$

$$w_{\text{жесткость}} = (0,04 + 0,07 + 0,04 + 0,14) / 4 = 0,0725$$

$$w_{\text{надёжность}} = (0,11 + 0,23 + 0,11 + 0,1) / 4 = 0,1375$$

$$w_{\text{вн.вид}} = (0,64 + 0,31 + 0,64 + 0,57) / 4 = 0,54$$

Исследуем согласованность матрицы.

$$\bar{w}_1 = 0,2475 \quad \bar{w}_2 = 0,0725 \quad \bar{w}_3 = 0,1375 \quad \bar{w}_4 = 0,54$$

$$A \bar{w} = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 2 & 0,33 \\ 0,2 & 1 & 0,33 & 0,25 \\ 0,5 & 3 & 1 & 0,17 \\ 3 & 4 & 6 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,2475 \\ 0,0725 \\ 0,1375 \\ 0,54 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,0632 \\ 0,302 \\ 0,5705 \\ 2,3975 \end{pmatrix}$$

Отсюда получаем:

$$\lambda_{\max} = 1,0632 + 0,302 + 0,5705 + 2,3975 = 4,33333$$

Индекс согласованности

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4,3 - 4}{4 - 1} = 0,1.$$

Оценка согласованности

$$СС = \frac{1,98(4 - 2)}{4} = 0,99,$$

$$ОС = \frac{ИС}{СС} = \frac{0,1}{0,99} = 0,1.$$

ОС ≤ 0,1 уровень несогласованности матрицы А является приемлемым

### Уровень 3

стоимость	Burton	Thirty-Two	Salomon
Burton	1	5	3
Thirty-Two	1/5	1	1/2
Salomon	1/3	2	1

Нормализуем матрицу S

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 2 & 1 \end{pmatrix} N_S = \begin{pmatrix} 0,65 & 0,625 & 0,67 \\ 0,13 & 0,125 & 0,11 \\ 0,22 & 0,25 & 0,22 \end{pmatrix}$$

$$w_{\text{Burton}} = (0,65 + 0,625 + 0,67) / 3 = 0,648$$

$$w_{\text{Thirty-Two}} = (0,13 + 0,125 + 0,11) / 3 = 0,121$$

$$w_{\text{Salomon}} = (0,22 + 0,25 + 0,22) / 3 = 0,23$$

Исследуем согласованность матрицы

$$\bar{w}_1 = 0.648 \quad \bar{w}_2 = 0.121 \quad \bar{w}_3 = 0.23$$

$$S_{\bar{w}} = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 3 \\ 0,2 & 1 & 0,5 \\ 0,33 & 2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,648 \\ 0,121 \\ 0,23 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,943 \\ 0,3656 \\ 0,6858 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 1,943 + 0,3656 + 0,6858 = 2,9944 \approx 3$$

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3 - 3}{2} = 0$$

$$СС = \frac{1,98(3 - 2)}{3} = 0.66$$

$$ОС = \frac{ИС}{СС} = 0$$

<b>жесткость</b>	Burton	Thirty-Two	Salomon
Burton	1	4	8
Thirty-Two	1/4	1	6
Salomon	1/8	1/6	1

$$J = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 8 \\ 0,25 & 1 & 6 \\ 0,125 & 0,17 & 1 \end{pmatrix} N_J = \begin{pmatrix} 0,72 & 0,77 & 0,53 \\ 0,18 & 0,19 & 0,4 \\ 0,1 & 0,03 & 0,07 \end{pmatrix}$$

$$w_{Burton} = (0,72 + 0,77 + 0,53) / 3 = 0,67$$

$$w_{Thirty-Two} = (0,18 + 0,19 + 0,4) / 3 = 0,25$$

$$w_{Salomon} = (0,1 + 0,03 + 0,07) / 3 = 0,03$$

$$\bar{w}_1 = 0.67 \quad \bar{w}_2 = 0.25 \quad \bar{w}_3 = 0.03$$

$$J_{\bar{w}} = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 8 \\ 0,25 & 1 & 6 \\ 0,125 & 0,17 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,67 \\ 0,25 \\ 0,03 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,910 \\ 0,5975 \\ 0,1565 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 1,910 + 0,5975 + 0,1565 = 2,6637$$

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{2,67 - 3}{2} = -0,165$$

$$ОС = \frac{ИС}{СС} = \frac{-0,165}{0,66} = -0,25$$

<b>надежность</b>	Burton	Thirty-Two	Salomon
Burton	1	6	1/3
Thirty-Two	1/6	1	1/4
Salomon	3	4	1

$$N_a = \begin{pmatrix} 1 & 6 & 0,33 \\ 0,17 & 1 & 0,25 \\ 3 & 4 & 1 \end{pmatrix} N_{Na} = \begin{pmatrix} 0,24 & 0,54 & 0,21 \\ 0,04 & 0,09 & 0,15 \\ 0,72 & 0,4 & 0,63 \end{pmatrix}$$

$$w_{Burton} = (0,24 + 0,54 + 0,21) / 3 = 0,33$$

$$w_{Thirty-Two} = (0,04 + 0,09 + 0,15) / 3 = 0,09$$

$$w_{Salomon} = (0,72 + 0,4 + 0,63) / 3 = 0,4375$$

$$\bar{w}_1 = 0,33 \quad \bar{w}_2 = 0,09 \quad \bar{w}_3 = 0,4375$$

$$N_a \bar{w} = \begin{pmatrix} 1 & 6 & 0,33 \\ 0,17 & 1 & 0,25 \\ 3 & 4 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,33 \\ 0,09 \\ 0,44 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,0152 \\ 0,2561 \\ 1,79 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 1,0152 + 0,2561 + 1,79 = 3,0613$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3,0613 - 3}{2} = 0,03$$

$$OC = \frac{IC}{CC} = \frac{0,03}{0,66} = 0,05$$

<b>внешний вид</b>	Burton	Thirty-Two	Salomon
Burton	1	4	7
Thirty-Two	1/4	1	5
Salomon	1/7	1/5	1

$$V = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 7 \\ 0,25 & 1 & 5 \\ 0,14 & 0,2 & 1 \end{pmatrix} N_V = \begin{pmatrix} 0,72 & 0,76 & 0,54 \\ 0,18 & 0,19 & 0,39 \\ 0,1 & 0,04 & 0,08 \end{pmatrix}$$

$$w_{Burton} = (0,72 + 0,76 + 0,54) / 3 = 0,67$$

$$w_{Thirty-Two} = (0,18 + 0,19 + 0,39) / 3 = 0,25$$

$$w_{Salomon} = (0,1 + 0,04 + 0,08) / 3 = 0,07$$

$$\bar{w}_1 = 0,67 \quad \bar{w}_2 = 0,25 \quad \bar{w}_3 = 0,07$$

$$V \bar{w} = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 7 \\ 0,25 & 1 & 5 \\ 0,14 & 0,2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,67 \\ 0,25 \\ 0,07 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,16 \\ 0,7576 \\ 0,2138 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 2,16 + 0,7576 + 0,2138 = 3,1314$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3,1314 - 3}{2} = 0,065$$

$$OC = \frac{IC}{CC} = \frac{0,065}{0,66} = 0,09$$

Полученные вектора приоритетов по каждому критерию занесем в таблицу. Результирующий вектор получается путем умножения составленной матрицы на вектор приоритетов критериев.

<b>Ботинки</b>	стоимость	жесткость	надежность	внешний вид	Результирующий вектор
	0,2475	0,0725	0,1375	0,54	
Burton	0.648	0.67	0.33	0.67	0,61613
Thirty-Two	0.121	0.25	0.09	0.25	0,1954
Salomon	0,23	0,03	0.4375	0.07	0,1571

**Burton:**  $0,2475*0,648 + 0,0725*0,67 + 0,1375*0,33 + 0,54*0,67 = \mathbf{0,61613}$

Thirty-Two:  $0,2475*0,121 + 0,0725*0,25 + 0,1375*0,09 + 0,54*0,25 = 0,1954$

Salomon:  $0,2475*0,23 + 0,0725*0,03 + 0,1375*0,4375 + 0,54*0,07 = 0,1571$

При приобретении ботинок для сноуборда, следует выбрать фирму

**Burton.**

Метод анализа иерархий может быть использован в различных сферах деятельности. В<sup>140</sup> описано применение метода анализа иерархий для оценки эффективности деятельности коммерческого банка. С учетом влияния нестабильной внешней среды выделены ключевые направления повышения рейтинга банка и выполнена экспертная оценка их значимости с учетом специфики интересов и влияния субъектов системы банковской деятельности. Результаты экспертной оценки представлены на рис. 2.9.5. Наиболее значимыми направлениями являются совершенствование инструментария управления и кадрового потенциала банков.

---

<sup>140</sup> Сплошнов С.В. Методологические основы рейтинговой оценки эффективности деятельности коммерческого банка / Автореферат дис. на соискание уч. степени канд. экон. наук по специальности 08.00.10 – Финансы, денежное обращение и кредит. – Минск, 2003. – 21 с.



Рис. 2.9.5. Результаты обработки экспертной оценки направлений повышения эффективности деятельности коммерческого банка

### 2.9.5. Общая классификация эвристических методов решения многокритериальных задач

Основными методами решения многокритериальных задач являются:

- принцип равномерности;
- принцип справедливой уступки;
- принцип выделения одного оптимизируемого критерия;
- принцип последовательной уступки;
- метод идеальной точки.

*Принцип равномерности* провозглашает целесообразность выбора такого варианта решения, при котором достигалась бы некоторая «равномерность» показателей по всем локальным критериям. Используют следующие реализации принципа равномерности:

- принцип равенства;
- принцип максимина;
- принцип квазиравенства.

*Принцип равенства* выражается следующим образом:

– оптимальным считается вариант, принадлежащий области компромиссов, при котором все значения локальных критериев равны между собой. Однако случай  $f_1=f_2=\dots=f_k$  может не попасть в область компромиссов или вообще не принадлежать к области допустимых вариантов.

*Принцип максимина* выражается следующим образом:

– из области компромиссов выбирается вариант с минимальными значениями локальных критериев и среди них ищется вариант, имеющий максимальное значение. Равномерность в этом случае обеспечивается за счёт «подтягивания» критерия с наименьшим уровнем.

*Принцип квазиравенства* заключается в том, что стремятся достичь приближённого равенства всех локальных критериев. Приближение характеризуется некоторой величиной  $\varepsilon$ . Это принцип может быть использован в дискретном случае.

Следует отметить, что принципы равенства, несмотря на их привлекательность, не могут быть рекомендованы во всех случаях. Иногда даже небольшое отклонение от равномерности может дать значительный прирост одному из критериев.

*Принцип справедливой уступки* основан на сопоставлении и оценке прироста и убыли величины локальных критериев. Переход от одного варианта к другому, если они оба принадлежат области компромиссов, неизбежно связан с улучшением по одним критериям и ухудшением по другим. Сопоставление и оценка изменения значения локальных критериев может производиться по абсолютному значению прироста и убыли критериев (принцип абсолютной уступки), либо по относительному (принцип относительной уступки).

*Принцип абсолютной уступки* – целесообразным считается выбрать такой вариант, для которого абсолютное значение суммы снижения одного или нескольких критериев не превосходит абсолютное значение суммы повышения оставшихся критериев.

Можно показать, что принципу абсолютной уступки соответствует модель максимизации суммы критериев.

Недостатком принципа абсолютной уступки является то, что он допускает резкую дифференциацию уровней отдельных критериев, так как высокое значение интегрального критерия может быть получено за счёт высокого уровня одних локальных критериев при сравнительно малых значениях других критериев.

*Принцип относительной уступки* – целесообразно выбрать тот вариант, при котором суммарный относительный уровень снижения одних критериев меньше суммарного относительного уровня повышения других критериев. Принципу относительной уступки соответствует модель максимизации произведения критериев

Принцип относительной уступки весьма чувствителен к величине критериев, причём за счёт относительности уступки происходит автоматическое снижение “цены” уступки для локальных критериев с большой величиной и наоборот. В результате проводится значительное сглаживание уровней локальных критериев. Важным преимуществом принципа относительной уступки является также то, что он инвариантен к масштабу изме-

нения критериев, то есть его использование не требует предварительной нормализации локальных критериев.

*Принцип выделения одного оптимизируемого критерия* заключается в том, что один из критериев является оптимизируемым и выбирают тот вариант, при котором достигается экстремум этого критерия. На другие критерии накладываются ограничения.

Принцип последовательной уступки и метод идеальной точки подробно описаны выше.

### 2.9.6. Примеры многокритериальных задач

**Пример 1.** Предприниматель покупает в одном месте мужские свитера (в количестве не более 60 штук), в другом – женские (не более 40 штук). С помощью мягкой щетки он делает начес и продает по 2 условные единицы за мужские и по 4 единицы за женские. За некоторый единичный интервал времени он может начесать не более 80 свитеров. Поскольку предприниматель хочет удержаться и на рынке мужских свитеров (М), и на рынке женских свитеров (Ж), постольку он интересуется не максимумом суммарного дохода или прибыли, а оценками сразу по нескольким критериям. Пусть закупочные цены в условных единицах таковы: мужские свитера по 1 ед/шт., женские по 2 ед/шт. Оптимизационная задача предпринимателя выглядит так ( $x_M, x_J$  – объемы закупок):

$$\begin{aligned} F_1 &= 2x_M \rightarrow \max, \\ F_2 &= 4x_J \rightarrow \max, \\ F_3 &= x_M + 2x_J \rightarrow \min, \\ 0 &\leq x_M \leq 60, \\ 0 &\leq x_J \leq 40, \\ x_J + x_M &\leq 80. \end{aligned}$$

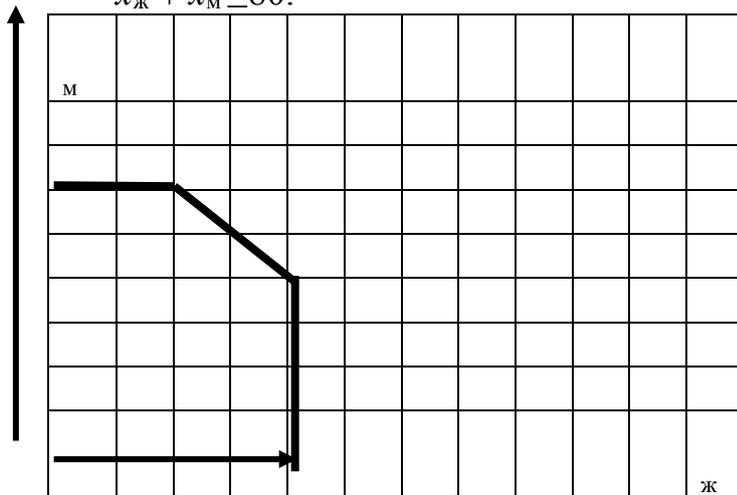


Рис. 2.9.6. Иллюстрация к примеру задачи с тремя критериями

На рис. 2.9.6 показана допустимая область OABCD. Отдельно по каждому из критериев решения находятся сразу (по  $F_1$ :  $x_M = 60$ ,  $F_1 = 120$ ; по  $F_2$ :  $x_J = 40$ ,  $F_2 = 160$ ; по  $F_3$ :  $x_M = x_J = 0$ ,  $F_3 = 0$ ), отрезок BC является множе-

ством точек, оптимальных по Парето по совокупности критериев  $F_1$  и  $F_2$ . Среди этих точек оптимум по  $F_3$  достигается в точке С ( $F_3=120, x_M=x_{ж}=40, F_1=80, F_2=160$ ). Допустим, зная ситуацию на рынках и свои финансовые возможности, этот предприниматель выбирает такие пороги:  $f_1 = 100$  (то есть он хочет иметь  $F_1 \geq f_1 = 100$ ),  $f_2 = 112$  (хочет иметь  $F_2 \geq f_2 = 112$ ), что дает задачу  $x_M \geq 50, x_{ж} \geq 28$  с целевой функцией  $F_3$ . Ясно, что в этом случае решением будет  $x_M = 50, x_{ж} = 28$  с  $F_3=106$ .

**Пример 2.** Необходимо обеспечить бесперебойную работу организации – своевременное снабжение сырьем и материалами. Для выбора поставщика продукции руководством фирмы определены следующие критерии: ассортимент продукции, качество поставляемых продуктов, стоимость, наличие сервиса, надежность поставок. При этом в качестве альтернатив рассматриваются следующие поставщики: фирма ОАО «Меркурий», фирма ОАО «Прометей», фирма ОАО «Везувий», фирма ООО «Находка», фирма ОАО «Мегатрон+».

В табл. 2.9.3 представлено исследование поставщиков продукции по всем пяти критериям. По представленным данным табл. 2.9.3 сложно сделать соответствующий выбор альтернативы, поэтому воспользуемся методом анализа иерархий.

Таблица 2.9.3

Исследование поставщиков

Поставщик	Критерий				
	Ассортимент	Качество продуктов	Средние цены(т.р.)	Среднее время получения продукции, час.	Надежность (в %)
Меркурий	Средний	Низкое	22,00	1,10	99,8
Прометей	Средний	Среднее	33,00	1,98	100
Везувий	Средний	Высокое	32,00	1,08	99,4
Находка	Средний	Среднее	31,00	2,45	98,9
Мегатрон+	Большой	Очень высокое	27,00	0,87	100

Определим важность каждого критерия в табл. 2.9.4. При этом используют соответствующую шкалу оценок от 0 до 9 (табл. 2.9.2).

Таблица 2.9.4

## Определение важности критериев

Критерий	Ассортимент	Качество	Стоимость	Сервис	Надежность	Важности критериев	Нормализованные оценки
Ассортимент	1	3	1/5	1/6	1/8	0,416	0,05193
Качество	1/3	1	1/6	1/8	1/9	0,238	0,02975
Стоимость	5	6	1	1/3	1/5	1,149	0,14331
Сервис	6	8	3	1	1/3	2,169	0,27060
Надежность	8	9	5	3	1	4,043	0,50439
Сумма	20,33	27,0	9,37	4,625	2,07	8,0148	$\lambda_{max}=5,42$

Важности критериев и нормализованные оценки определяем по формулам (9.2.3) – (9.2.4).

$$\lambda_{max} = 20,33 \cdot 0,05193 + 27 \cdot 0,02975 + 9,37 \cdot 0,14331 + 4,625 \cdot 0,2706 + 2,07 \cdot 0,50439 = 5,42;$$

$$ИС = (5,42 - 5) / 4 = 0,105; \quad СС = 1,98(5 - 2) / 5 = 1,188;$$

Отношение согласованности  $ОС = ИС / СС = 8,84\% < 10\%$ .

Проведем оценку альтернатив по каждому критерию.

По критерию «ассортимент» результаты приведены в табл. 2.9.5.

Таблица 2.9.5

## Парное сравнение альтернатив по критерию «ассортимент»

Поставщик	Меркурий	Прометей	Везувий	Находка	Мегатрон	Вектор оценки	Нормализованные оценки
Меркурий	1	1	1	1	1/9	0,644	0,076923
Прометей	1	1	1	1	1/9	0,644	0,076923
Везувий	1	1	1	1	1/9	0,644	0,076923
Находка	1	1	1	1	1/9	0,644	0,076923
Мегатрон+	9	9	9	9	1	5,799	0,692308
Сумма	13	13	13	13	1,44	8,377	$\lambda_{max} = 4,997$

Отношение согласованности  $ОС = 0,00\% < 10\%$ .

По критерию «качество» получим результаты, приведенные в табл. 2.9.6.

Таблица 2.9.6

## Парное сравнение альтернатив по критерию «качество»

Поставщик	Меркурий	Прометей	Везувий	Находка	Мегатрон	Вектор оценки	Нормализ. оценки
Меркурий	1	1/2	1/5	1/3	1/9	0,326	0,038950
Прометей	2	1	1/6	1/2	1/9	0,450	0,053741
Везувий	5	6	1	2	1/5	1,643	0,196163
Находка	3	2	1/2	1	1/9	0,802	0,095798
Мегатрон+	9	9	5	9	1	5,156	0,615348
Сумма	20,0	18,50	6,87	12,83	1,53	8,379	$\lambda_{max} = 5,291$

Отношение согласованности ОС = 6,13% < 10%.

По критерию «стоимость» получим результаты, приведенные в табл. 2.9.7.

Таблица 2.9.7

## Парное сравнение альтернатив по критерию «стоимость»

Поставщик	Меркурий	Прометей	Везувий	Находка	Мегатрон	Вектор оценки	Нормализ. оценки
Меркурий	1	1	3	2	1/7	0,9696	0,121237
Прометей	1	1	3	2	1/7	0,9696	0,121237
Везувий	1/3	1/3	1	1/2	1/9	0,3615	0,045198
Находка	1/2	1/2	2	1	1/8	0,5743	0,071812
Мегатрон+	7	7	9	8	1	5,1228	0,640516
Сумма	9,83	9,83	18,0	13,50	1,52	7,9979	$\lambda_{max} = 5,14$

Отношение согласованности ОС = 2,97% < 10%.

По критерию «сервис» получим результаты, приведенные в табл. 2.9.8.

Таблица 2.9.8

## Парное сравнение альтернатив по критерию «сервис»

Поставщик	Меркурий	Прометей	Везувий	Находка	Мегатрон	Вектор оценки	Нормализ. оценки
Меркурий	1	4	1	7	1/2	1,6952	0,244138
Прометей	1/4	1	1/3	5	1/5	0,6083	0,087614
Везувий	1	3	1	7	1/2	1,6004	0,230487
Находка	1/7	1/5	1/7	1	1/9	0,2144	0,030884
Мегатрон+	2	5	2	9	1	2,8252	0,406878
Сумма	4,39	13,20	4,47	29,00	2,31	6,9436	$\lambda_{max}$ =5,07

Отношение согласованности ОС = 1,4% < 10%.

По критерию «надежность» результаты приведены в табл. 2.9.9.

Таблица 2.9.9

## Парное сравнение альтернатив по критерию «надежность»

Поставщик	Меркурий	Прометей	Везувий	Находка	Мегатрон	Вектор оценки	Нормализ. оценки
Меркурий	1	1/3	3	5	1/3	1,1076	0,158835
Прометей	3	1	5	7	1	2,5365	0,363760
Везувий	1/3	1/5	1	3	1/5	0,5253	0,075334
Находка	1/5	1/7	1/3	1	1/7	0,2671	0,038311
Мегатрон+	3	1	5	7	1	2,5365	0,363760
Сумма	7,53	2,68	14,33	23,0	2,68	6,9730	$\lambda_{max}$ =5,11

Отношение согласованности ОС = 2,33% < 10%.

Составим итоговую таблицу оценки альтернатив по установленным критериям (табл. 2.9.10).

Таблица 2.9.10

## Оценка альтернатив с учетом важности критериев

Альтернативы	Критерии					
	Ассортимент	Качество	Стоимость	Сервис	Надежность	Глобаль- нкрите- рии
	Численное значение важности критериев					
	0,05193	0,02975	0,14331	0,27060	0,50439	
Меркурий	0,07692	0,03895	0,12123	0,24413	0,15883	0,168709
Прометей	0,07692	0,05374	0,12123	0,08761	0,36376	0,230155
Везувий	0,07692	0,19616	0,04519	0,23048	0,07533	0,116678
Находка	0,07692	0,09579	0,07181	0,03088	0,03831	0,044818
Мегатрон+	0,69230	0,61534	0,64051	0,40687	0,36376	<b>0,439640</b>

Следует остановить свой выбор на альтернативе с максимальным значением глобального приоритета = 0.439640

### Вопросы для самопроверки

1. Экономическая интерпретация многокритериальной задачи.
2. Понятие оптимума по Парето и его экономическая интерпретация.
3. Методы исследования многокритериальных математических моделей.
4. Методы отыскания частных оптимумов по Парето и условия их применимости.
5. Экономические приложения и процедура решения многокритериальной задачи при заданных рангах целей.
6. Процедура решения многокритериальной задачи весовым методом и её управленческие приложения.
7. Экономические приложения и процедура решения многокритериальной задачи при заданных пропорциях степени достижения целей.
8. Многокритериальная задача при заданных уровнях насыщения целей и её приложение к проблемам менеджмента.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принятие решений – это проблема, которая существует около 300 лет. Ещё в XVII веке появилась идея математического ожидания и было сформулировано предложение о том, что при выборе решения надо руководствоваться несколькими правилами: а) по отношению к каждому из альтернативных вариантов необходимо определить возможные исходы, а также их вероятности; б) для каждого из вариантов следует найти ожидаемую ценность – произведение вероятности на соответствующий исход; в) выбрать вариант, имеющий оптимальную ценность.

В 1713 году Николас Бернулли выдвинул идею о субъективной ценности исходов. Так появилась теория ожидаемой полезности.

В 1954 году Сэвидж предложил рассматривать вероятности исходов как субъективные, так как, несмотря на возможность объективно измерить вероятности исходов, реальный человек в своем выборе руководствуется субъективными представлениями о ситуации. Так, теория ожидаемой полезности преобразовалась в теорию субъективной ожидаемой полезности.

Началом интенсивного развития теории разработки и принятия управленческих решений считают начало 40-х гг., когда во время второй мировой войны в Англии группе ученых было поручено решить такие сложные управленческие проблемы, как оптимальное размещение огневых позиций, объектов гражданской обороны, конвоя транспортных караванов.

Принятие решений – важная составная часть управленческой деятельности руководителя любого уровня. Все функции менеджера, предложенные еще в начале XX века Анри Файолем – предвидение, планирование, организация, координация и контроль, увязываются именно процессом принятия управленческого решения. Деятельность любого руководителя оценивается количеством и качеством принятых решений. На основе принятых решений формулируются цели и задачи организаций, планируется и организуется их выполнение.

Чтобы организация процветала, надо умело руководить. Для этого требуется большой объем знаний, компетенция, жизненный опыт. От правильности решения, особенно руководителя высокого ранга, зависят судьбы людей, предприятий, а также стран и народов. Поэтому, готовясь к управленческой деятельности, необходимо знать, какие бывают решения, каким образом и зачем они принимаются и как претворяются в жизнь.

Любому поступку индивида или действию коллектива предшествует предварительно принятое решение. Каждый человек на протяжении всей жизни познает на практике процесс принятия решений. Каждый из нас в течение дня принимает десятки, а на протяжении жизни – тысячи решений. Способность принимать решения – это умение, развиваемое с опытом.

Принимать решения люди начали очень давно. Ещё пещерный человек, окруженный хищниками, не очень мощный физически, стал царем приро-

ды именно потому, что его решения отличались от инстинктивных действий животных.

Великие люди всех времен отличались от своих заурядных коллег тем, что умели быстро и правильно решать и действовать. Им помогали опыт и интуиция. Александр Васильевич Суворов провел 60 сражений и одержал в них 60 побед. Хотя лишь только в трех из них у Суворова был численный перевес над противником. И, тем не менее, он побеждал. Конечно, большое значение имеет моральный дух воинов. Однако умение ориентироваться в сложной обстановке и принимать быстрые и правильные решения играют крайне важную роль. Неверные же решения оборачиваются неправыми бедами, могут привести к напрасной трате ресурсов, расходу человеческих сил и проявиться колоссальными убыткам.

Успех приходит к тем, кто способен предвидеть, не боится рисковать и умеет принимать эффективные решения. Умение принимать такие решения жизненно важно для руководителя, поскольку процветание или даже выживание организации почти целиком зависит от этих качеств.

## СЛОВАРЬ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ

**Адаптация** – приспособление структуры и функций систем к внешней среде.

Это приспособляемость, живучесть – способность системы сохранять свою структуру и выполнять свои функции при изменении внешней среды.

**Адекватность модели** – соответствие модели моделируемому объекту или процессу.

**Алгоритм** – пошаговая процедура, проводимая по определенным правилам, которая за конечное число шагов позволяет достигнуть решение, в частности оптимальное.

**Альтернатива** – необходимость выбора между взаимосвязанными возможностями.

**Альтернатива** – вариант действий. Альтернативы бывают независимыми и зависимыми. Независимыми являются те альтернативы, любые действия с которыми (удаление из рассмотрения, выделение в качестве единственно лучшей) не влияют на качество других альтернатив. При зависимых альтернативах оценки одних из них оказывают влияние на качество других.

**Анализ** – разложение целого на более мелкие, простые элементы и последующее установление взаимосвязей между ними с целью повышения качества прогнозирования, оптимизации, обоснования, планирования и оперативного управления реализацией управленческого решения по развитию объекта.

**Аналитический метод** – метод исследования, состоящий в разбиении целого на части и их раздельном изучении.

**Аналитическая модель** – формула, представляющая математические зависимости в экономике.

**Антагонистические игры** – игры, в которых интересы игроков строго противоположны, т.е. выигрыш одного игрока – проигрыш другого.

**Апостериори** – на основании опыта.

**Априори** – до опыта, независимо от предшествующего опыта.

**АРМ** – автоматизированное рабочее место.

**Аттрактор** – точка или связное множество точек фазового пространства, к которому сходятся все фазовые траектории системы, отвечающие заданному (определяющему аттрактор) начальному условию. Если система попадает в поле притяжения определенного аттрактора, то она неизбежно эволюционирует к этому относительно устойчивому состоянию.

**Вариант** – видоизменение, разновидность, одна из возможных реализаций.

**Владелец проблемы** – человек, который, по мнению окружающих, должен её решать и несет ответственность за принятые решения.

**Внешняя среда** фирмы – факторы макросреды фирмы, инфраструктуры региона, влияющие на качество управленческого решения.

**Внутренняя среда** фирмы – персонал организации, производство, финансы организации, маркетинг, организационная культура и т.д.

**Вход системы** разработки решения – параметры, характеризующие проблему, которую необходимо решать.

**Выход системы** разработки решения – решение, выраженное количественно и качественно, имеющее определенную степень адекватности и вероятность реализации, степень риска достижения запланированного результата.

**Гомоморфизм** (в теории систем) – логико-математическое понятие, означающее одностороннее отношение подобия между двумя системами. Систему называют гомоморфной другой системе, если первая обладает некоторыми, но не всеми, свойствами или законами поведения другой.

**Граничные условия** – предельно допустимые значения переменных.

**Двойственные оценки** определяют дефицитность используемых ресурсов и показывают, насколько возрастает максимальное значение целевой функции прямой задачи при увеличении количества соответствующего ресурса на единицу.

**Декомпозиция** – метод решения, требующий разложения системы на подсистемы и элементы.

**Делегирование полномочий** – передача другому лицу или звену системы управления права принятия решения.

**Дельфийский метод (туманный, неоднозначный)** – специальный метод выяснения невысказанных в явной форме показаний с помощью анкетирования.

**Дерево (древо) решений** – графическое изображение последовательности решений и состояний среды с указанием соответствующих вероятностей и выигрышей для любых комбинаций альтернатив и состояний среды.

**Дерево (древо) целей** – структурированная, построенная по иерархическому принципу (ранжированная по уровням) совокупность целей системы, программы, плана, в которой выделены: главная цель (вершина дерева), подчиненные ей подцели первого, второго и последующих уровней (ветви и листочки дерева).

**Дилемма** – затруднительный выбор между двумя имеющимися возможностями.

**Динамика** – состояние движения, ход развития, изменение какого-либо явления под влиянием действующих на него факторов.

**Дисциплина очереди** описывает порядок обслуживания требований в системе.

**Допустимый план** – решение, удовлетворяющее системе ограничений, но не обязательно оптимальное.

**Дуальность** – двойственность, два противоположных значения спектра.

**Задача о диете** заключается в определении рациона, удовлетворяющего потребностям в питательных веществах при минимальной стоимости.

**Задача коммивояжера** состоит в отыскании наилучшего маршрута для коммивояжера, который должен объехать заданные города и вернуться назад за кратчайший срок или с наименьшими затратами.

**Задача математического программирования.** В общей постановке задачи этого раздела выглядят следующим образом. Имеются какие-то переменные и функция этих переменных  $f(x)=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , которая носит название целевой функции. Ставится задача: найти экстремум (максимум или минимум) целевой функции при условии, что переменные  $x$  принадлежат некоторой области  $G$ .

**Задача о назначениях** показывает, как распределить кандидатов по вакансиям наилучшим образом.

**Задача о раскрое** – как раскроить листы с минимальными затратами.

**Задача о рюкзаке** – задача о наилучшем использовании ограниченного объема.

**Задача оптимизации** – задача, решение которой сводится к нахождению максимума или минимума целевой функции.

**Игра** – формализованная модель конфликтной ситуации.

**Игра  $n$  лиц с постоянной суммой** – игры, в которых принимает участие  $n$  игроков, существует  $n$  множеств стратегий и  $n$  действительных платежных функций от  $n$  переменных, каждая из которых является элементом соответствующего множества стратегий. Каждый игрок знает всю структуру игры и в своем поведении неизменно руководствуется желанием получить максимальный средний выигрыш.

**Игра против природы** – игры, где одним из определяющих факторов является внешняя среда или природа, которая может находиться в одном из состояний, которые неизвестны лицу, принимающему решение.

**Игра с нулевой суммой** – игры, в которых сумма выигрыша игроков после каждой партии составляет ноль.

**Иерархия** – расположение частей или элементов системы в порядке от высшего к низшему; расположение служебных должностей в порядке их подчинения. Многоуровневая структура элементов или событий, позволяющая производить ранжирование по уровням.

**Изоморфизм** – логико-математическое понятие, означающее отношение взаимного подобия двух систем.

**Имидж** – образ менеджера, фирмы и т. д., возникающий при восприятии их деятельности. способствует целенаправленному и эмоциональному его восприятию. Имидж может и не соответствовать реальным качествам объекта.

**Имитационное моделирование** – моделирование случайных величин.

**Императивы** – нормы, которые накладываются на системы технологией или обществом.

**Инвестиции** – вложения средств, с целью сохранения и увеличения капитала.

**Инновация** – результат внедрения новшества в конкретной сфере деятельности.

**Интуиция** – чутье, пронизательность, непосредственное постижение истины без логического обоснования. Результат скрытой обработки информации подсознанием человека.

**Информационная система (ИС)** – совокупность средств информационной техники и людей, объединенных для достижения определенных целей (в том числе и для управления).

**Информация** – сведения, знания, сообщения, которые содержат элементы новизны для их получателя и используются в процессе принятия решения.

**Исследование операций** – наука, занимающаяся разработкой и практическим применением методов оптимального управления организационными системами.

**Истина** – знание, которое удовлетворяет теоретическим стандартам, или решение проблемы, которое признается приемлемым вследствие подтверждения на практике.

**Итерация** – этап реализации алгоритма, отличающийся от его других этапов (кроме начального и конечного) лишь значениями переменных величин, но не составом процедур обработки информации.

**Канал обслуживания** – устройство для обслуживания требований в очереди.

**Качество управленческого решения** – совокупность параметров решения, удовлетворяющих конкретных потребителей и обеспечивающих реальность его осуществления.

**Кибернетика** – наука об управлении сложными системами и связи в живых системах, в обществе, в системах «человек-машина».

**Классификация** – упорядоченное распределение элементов некоторого множества по каким-либо существенным признакам и отнесение их к тому или иному классу, подклассу, группе.

**Компромисс** – действие, позволяющее ЛПР путем сравнения целей и средств взвесить их относительные достоинства, продумать взаимные замены и оценить степень достижения противоположных целей.

**Консультант (аналитик) по принятию решений.** Его роль сводится к разумной организации процесса принятия решений: помощи ЛПР и владельцу проблемы в правильной постановке задачи, выявлении позиций активных групп, организации работы с экспертами. Консультант (или аналитик) обычно не вносит свои предпочтения, оценки в принятие решений, он только помогает другим взвесить все «за» и «против» и выработать разумный компромисс.

**Концепция** – комплекс основополагающих идей, принципов, правил, раскрывающих сущность и взаимосвязи данного явления или системы и позволяющих определить систему показателей, факторов и условий, которые способствуют решению проблемы, формированию стратегии фирмы, установлению правил поведения личности.

**Контроль** – функция менеджмента по учету расхода ресурсов и обеспечению выполнения планов, программ, заданий по реализации управленческих решений.

**Критерий** – показатель привлекательности (непривлекательности) варианта решения для ЛПР или участников процесса принятия решения, признак, на базе которого производится оценка, определение, классификация чего-либо. Критерий Вальда – «Рассчитывай на худшее». Критерий Гурвица – «Компромисс». Критерий Лапласа – «Ориентируйся на лучшее». Критерий Сэвиджа – «Рассчитывай на лучшее»

**Критический путь** – путь в сети наибольшей продолжительности.

**Линейное программирование** – методы решения задач математического программирования, в которых ограничения и целевая функция линейны.

**Лицо, принимающее решения (ЛПР)** – лицо, принимающее решение. Может быть индивидуальным или групповым.

**Метод потенциалов** — метод решения транспортной задачи.

**Метод рекуррентных соотношений Беллмана** – основной метод динамического программирования, в основе которого лежит следующий принцип оптимальности: если управление процесса оптимально, то оно

будет оптимальным и для процесса, остающегося после осуществления очередного шага.

**Модель** – условный образ объекта управления, «система, отражающая другую систему» (Н.М. Амосов). Модели могут быть: вербальными, концептуальными, символическими; логическими, физическими, экономико-математическими и др.

**Мониторинг** – специально организованное систематическое наблюдение за состоянием каких-либо объектов.

**Мотивация** – функция менеджмента, процесс побуждения работников к деятельности для достижения целей с учетом ставки накопления.

**Неопределенность** – неполнота, неточность информации об условиях реализации проекта (решения).

**НИОКР** – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

**НИТ** – новые информационные технологии.

**Обратная связь** – связь, представляющая собой различную информацию, поступающую от исполнителей к лицу, принявшему решение, или к лицу, от которого поступила информация по решению проблемы.

**ОДИ** – организационно-деятельностные игры.

**Оптимальность по Парето** – итальянский экономист В. Парето в начале XX века сформулировал один из самых распространенных критериев оптимальности: «Следует считать, что любое изменение, которое никому не причиняет убытков и которое приносит некоторым людям пользу (по их собственной оценке), является улучшением.

**Оптимизация** – процесс, направленный на получение максимального (минимального) значения целевой функции, которое может быть достигнуто в замкнутой системе. Такое значение функции является субоптимумом для открытой подсистемы, входящей в другую систему.

**Оптимизация решения** – процесс перебора множества факторов, влияющих на результат, и выбора наилучшего для данной ситуации решения.

**Организация** – 1) внутренняя упорядоченность, согласованность, взаимодействие частей целого, обусловленные его строением; 2) совокупность процессов или действий, ведущих к образованию или совершенствованию взаимосвязей между частями целого; 3) совокупность людей и групп, объединенных для достижения какой-либо цели, на основе определенных правил и процедур, разделения труда и обязанностей.

**Ответственность** – обязательство выполнять задания и обеспечивать их удовлетворительное завершение.

**Отрицательная обратная связь** – тип связи в системе управления, при которой некоторая часть выходного сигнала системы – обычно разница между истинным и желаемым результатом – подается на вход для того, чтобы поддерживать систему в определенных границах.

**Осознание ответственности** – отражение в сознании человека социальной необходимости и понимания смысла совершаемых действий и их последствий.

**ОТШП** – организационно-техническая подготовка производства.

**Парадигма** – относительно замкнутая система понятий, принципов и методов (приемов), с помощью которой отображается специфика данного класса объектов и решаются соответствующие задачи. Научная парадигма – система понятий, принципов и методов, применяемых в точных науках.

**Параметр** – величина, характеризующая какое-либо свойство ситуации, объекта, устройства, процесса и т.д.

**Платежная матрица** – прямоугольная таблица размерности  $m$  на  $n$ ,  $i=1, \dots, n$   $j=1, \dots, m$  ( $i, j$ )-ый элемент которой есть значение выигрыша (пригрыша) игроков в случае  $i$ -го хода первого игрока и  $j$ -го хода второго игрока.

**Показатель** – величина, измеритель, позволяющий судить о состоянии объекта.

**Порядковая шкала** – наиболее сильная шкала измерений, которая может использоваться для решения многих задач из области общественных наук.

**Прерогативы** – исключительное право, принадлежащее какому-либо государственному органу или должностному лицу.

**Принцип** – основное, исходное положение теории, правило поведения личности.

**Принятие решения (decision-making)** – процесс информационного обеспечения, анализа, прогнозирования и оценки ситуации, выбора и согласования наилучшего альтернативного варианта достижения поставленной цели.

**Приоритет** – первенствующее значение чего-либо; первенство в каком-либо открытии, изобретении и т.п.

**Проблема** – понятие, характеризующее разницу между действительным и желаемым состояниями объекта.

**Прогноз** – научно обоснованное суждение о возможных состояниях объекта в будущем, об альтернативных путях и сроках его существования. В системе управления прогноз – предплановая разработка многовариантных моделей развития объекта управления.

**Прогнозирование** – процесс разработки прогнозов.

**Ранжирование** – определение важности, весомости, ранга факторов (проблем) по их эффективности, масштабности, актуальности, степени риска.

**Рациональный выбор (rational choice).** Рациональный выбор – в теории принятия решений – выбор средств, гарантирующих достижение цели с минимальными затратами и минимальными нежелательными последствиями.

**Регулирование** – функция менеджмента по изучению изменений факторов внешней среды, оказывающих влияние на качество управленческого решения и эффективность функционирования системы менеджмента фирмы, принятию мер по доведению (совершенствованию) параметров входа системы или процессов в ней до новых требований выхода (потребителей).

**Резерв времени работы** – величина, на которую можно увеличить продолжительность выполнения работы без увеличения времени наступления конечного события.

**Релевантная информация** – информация, относящаяся к делу, собираемая по конкретному вопросу.

**Ресурсы** – основные факторы управления, которые используются для реализации принятых решений (сырье и материалы, энергия, персонал, финансы, информация, связи, имидж, реклама).

**Решение (decision)** – процесс и результат выбора способа и цели действий из ряда альтернатив в условиях неопределенности.

**Решение допустимое (приемлемое)** – решение, удовлетворяющее ограничениям: ресурсным, правовым, морально-этическим.

**Решение оптимальное (наилучшее)** – если решение обеспечивает экстремум (максимум или минимум) выбранного критерия для данной ситуации.

**Решение эффективное** – характеризуется степенью достижения целей к затратам на их достижение.

**Риск** – вероятность возникновения убытков или снижения доходов по сравнению с прогнозируемым вариантом.

**Роли людей в процессах принятия решений (ППР)**. Они могут быть следующими: владелец проблемы, избиратель, ЛПР, руководитель или участник активной группы, эксперт.

**РПУР** – разработка и принятие управленческих решений. Синтез – процедура, обратная анализу. Из частных, простых фактов делаются более общие выводы.

**РУР** – разработка управленческих решений.

**Сбои (отказы)** – отклонения от нормального режима функционирования.

**Сетевой график** – граф с дугами, изображающими связь между узлами, в котором дуге соответствует выполняемая работа, вершине – событие.

**Симплекс-метод** – метод решения задач линейного программирования, заключающийся в последовательном улучшении плана и позволяющий осуществлять переход от одного допустимого базисного решения к другому таким образом, что значение целевой функции непрерывно возрастают и за конечное число шагов находится оптимальное решение.

**Система** – некоторая целостность, состоящая из взаимозависимых частей, каждая из которых вносит свой вклад в характеристики целого.

**Системный анализ** – методология решения проблем, основанная на структуризации систем и количественном сравнении альтернатив.

**Стратегия** – совокупность, включающая: 1) долговременные цели, определяющие деятельность организации (стратегические цели); 2) технологии, с помощью которых реализуется достижение стратегических целей; 3) ресурсы, которые будут использованы при достижении стратегических целей; 4) систему управления, обеспечивающую достижение стратегических целей, в т.ч. людей, как основную составляющую часть системы управления.

**Системный подход** – подход, обеспечивающий решение задач, связанных с большими системами. Этот подход имеет специально-методологическую функцию, давая ориентиры при решении системных задач. Имеет и теоретическую (расчетно-предсказательную) функцию, когда трансформируется в общую теорию систем.

**Согласие (единодушие)** – согласованность оценок, суждений между агентами и реципиентами систем.

**Структура** – совокупность образующих систему элементов и связей между ними.

**Субоптимизация** – в случае сложных открытых систем согласованная субоптимизация (близкая к оптимальной) может оказаться значительно лучше, чем глобальная оптимизация.

**Суждение** – особая форма принятия решения, состоящая в использовании фактов из окружающей среды для получения оценок, которые не нарушают постулатов логики, совпадают с мнениями экспертов, с реальной действительностью.

**ССВУ-анализ (SWOT-анализ)** – метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). Сильные (S) и слабые (W) стороны являются факторами **внутренней среды** объекта анализа, (то есть тем, на что сам объект способен повлиять); возможности (O) и угрозы (T) – факторы **внешней среды** (то, что может повлиять на объект извне и при этом не контролируется объектом).

**Тактика** – приемы, способы достижения какой-либо цели.

**Теория игр (game theory)** – раздел современной математики, изучающий математические модели принятия решений в так называемых **конфликтных ситуациях** (ситуациях, при которых интересы участников либо противоположны и тогда эти модели называются антагонистическими играми; либо не совпадают, хотя и не противоположны, и тогда речь идет об «играх с непротивоположными интересами»).

**Теория информации** – математическая теория (теории), позволяющая определять количество информации в каналах связи как функцию вероят-

ности передаваемых сообщений и сигналов. Такое измерение не включает оценок смыслового значения и ценности (важности) информации.

**ТПУР** – теория принятия управленческих решений.

**ТРИЗ** – теория решения изобретательских задач.

**Теория управления запасами** разрабатывает методы вычисления уровня производства или запаса, обеспечивающего удовлетворение будущего спроса с наименьшими издержками.

**Транспортная задача** – задача о наиболее экономном плане перевозок однородного груза из пункта отправления заданной мощностью в пункт назначения с заданным спросом.

**Управленческое решение (УР)** (managerial decision) – директивный акт целенаправленного воздействия на объект управления, основанный на анализе достоверных данных, характеризующих конкретную управленческую ситуацию, определение цели действий, и содержащий программу достижения цели. Управленческие решения различаются: по времени управления на стратегические, тактические, оперативные; по степени участия специалистов на индивидуальные, коллективные, коллегиальные; по содержанию управленческого процесса на социальные, экономические, организационные, технические. УР – это результат анализа, прогнозирования, оптимизации, экономического обоснования и выбора альтернативы из множества вариантов достижения конкретной цели системы менеджмента.

**Фактор** – частный показатель объекта или процесса, протекающего в системе и оказывающего влияние на функцию.

**Форс-мажор** – событие, которое не может быть предусмотрено, ни преодолено. Возможность таких событий учитывается при определении риска.

**ФСА** – функционально-стоимостной анализ.

**Функция** – 1) результативный признак, прогнозная величина, рассчитанная по уравнению регрессии, например, цена, себестоимость, трудоемкость, фондоотдача, производительность, элементы затрат по стадиям жизненного цикла объекта, обобщающие показатели качества и др.; 2) вид выполняемой работы.

**Целевая функция** – критерий оптимизации, признак, характеризующий качество принимаемого решения (максимум прибыли, минимум затрат).

**Цель** – это состояние объекта управления, к достижению которого стремится организация. Это образ (модель) требуемых изменений какой-либо системы.

**Шкала** – последовательность чисел, служащая для измерения или количественной оценки каких-либо величин.

**Шкалы оценок по критериям.** В ходе ПР принято различать шкалы непрерывных и дискретных оценок, шкалы количественных и качественных оценок. Так, для критерия «стоимость» может быть использована непрерывная количественная шкала оценок (в денежных единицах). Для кри-

терия «наличие дачи» может быть качественная двоичная шкала: есть либо нет. Кроме категорий «качественные – количественные», «непрерывные – дискретные» в принятии решений различают следующие типы шкал:

1. Шкала порядка – оценки упорядочены по возрастанию или убыванию качества (пример – шкала экологической чистоты района около места жительства: очень чистый район; вполне удовлетворительный по чистоте; экологическое загрязнение велико).

2. Шкала равных интервалов – интервальная шкала. Для этой шкалы имеются равные расстояния по изменению качества между оценками. Например, шкала дополнительной прибыли для предпринимателя может быть следующей: 1 млн, 2 млн, 3 млн и т.д. Для интервальной шкалы характерно, что начало отсчета выбирается произвольно, так же как и шаг (расстояние между оценками) шкалы.

3. Шкала пропорциональных оценок – идеальная шкала. Примером является шкала оценок по критерию стоимости, отсчет в которой начинается с установленного значения (например, с нулевой стоимости).

**Эвристика, эвристическое программирование** – процедура, позволяющая получить за конечное число шагов решение, близкое к оптимальному.

**Эквифинальность** – одинаковое конечное состояние, которое достигают открытые системы за счет взаимодействия с окружающей средой при различных исходных условиях.

**Эксперт** – профессионал, высококвалифицированный специалист в некоторой области деятельности, владеющий технологиями проведения экспертиз и соответствующей нормативно-правовой базой, принимающий участие в проведении экспертиз. К нему обращаются за оценками и рекомендациями лица, включенные в процесс принятия решений.

**Экспертиза** – исследование какого-либо объекта, ситуации, вопроса, требующего специальных знаний, с представлением мотивированного заключения.

**Экономико-математические методы (ЭММ)** – выбор наилучших, оптимальных вариантов, определяющих управленческие решения в сложившихся или планируемых экономических условиях.

**Энтропия** – в теории информации величина, характеризующая степень неупорядоченности системы.

**Эпистемология (гносеология, теория познания)** – раздел философии, изучающий черты, закономерности и формы процесса познания действительности, а также рассуждения, в результате которых достигается истинное знание.

**Эрратология** (от лат. «errata» – «ошибки») – теория ошибок (термин чаще используется в сфере лингвистики, особенно в теории переводов)

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авербах, Л.И. Экономико-математические методы принятия решений: краткий курс лекций / Л.И. Авербах, Я.Д. Гельруд. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 192 с.
2. Акофф, Р. Искусство решения проблем / Р. Акофф; пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 224 с.
3. Акофф, Р. О целеустремленных системах / Р. Акофф, Ф. Эмери. – М.: Сов. радио, 1974. – 272 с.
4. Альтшуллер, Г.С. Творчество как точная наука / Г.С. Альтшуллер. – М.: Сов. радио, 1979. – 175 с.
5. Башкатова, Ю.И. Управленческие решения: учеб. пособие / Ю.И. Башкатова. – М.: ММИЭИФП, 2003. – 89 с.
6. Берн, Э. Игры, в которые играют люди. Люди, которые играют в игры / Э. Берн. – СПб.: Лениздат, 1992. – 400 с.
7. Вербин, С. Наука принятия решений / С. Вербин. – СПб.: Питер, 2002. – 160 с.
8. Веселов, П.В. Деловые беседы и совещания / П.В. Веселов. – М.: Экономика, 1994. – 155 с.
9. Воронин, А. Теория и практика многокритериальных решений: модели, методы, реализация / А. Воронин, Ю. Зиатдинов. – Lambert Academic Publishing, 2013. – 312 с.
10. Гельруд, Я.Д. Методы исследований в менеджменте для магистров: электронное учебное пособие к лекционным и практическим занятиям / Я.Д. Гельруд. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2013. – 341 с.
11. Герасимов К.Б. Формирование структуры процессов в системе управления организациями: автореф. дис ... д-ра экон. наук / К.Б. Герасимов. – СПб.: СПбГЭУ, 2019. – 32 с.
12. Глущенко, В.В., Разработка управленческого решения / В.В. Глущенко, И.И. Глущенко. – М.: ТОО НПЦ «Крылья», 1997. – 400 с.
13. Грешилов, А.А. Как принять наилучшее решение в реальных условиях / А.А. Грешилов. – М.: Радио и связь, 1991. – 320 с.
14. Грошев И.В. Служебное совещание / И.В. Грошев А.А. Поздняков. – СПб.: Питер, 2005. – 204 с.
15. Демьяненко, В. Особенности управления изменениями в России / В. Демьяненко, А. Вахин, В. Елиферов и др. – [б. м.]: Издательские решения, 2016. – 138 с.
16. Диев В.С. Управленческие решения: Неопределенность, модели, интуиция. – Новосибирск: НГУ, 2001. – 195 с.
17. Диев В.С. Курс «Основы принятия решений» в высшей школе России / В.С. Диев, Г.В. Сорина // Ценности и смыслы. – 2012. – №2. – С. 83–98.

18. Доусон, Р. Уверенно принимать решения: Как научиться принимать правильные решения в бизнесе и жизни / Р. Доусон; пер. с англ. – М.: Культура и спорт, ЮНИТИ, 1996. – 255 с.
19. Дубина, И.Н. Творческие решения в управлении и бизнесе / И.Н. Дубина. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2007. – 373 с.
20. Злотин, Б.Л. Законы развития и прогнозирование технических систем: методические рекомендации / Б.Л. Злотин, А.В. Зусман. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ; МНТЦ «Прогресс», 1989. – 114 с.
21. Знаков, В.В. Психология понимания: проблемы и перспективы / В.В. Знаков. – М.: Издательство «Институт психологии РАН», 2005. – 448 с.
22. Карданская, Н.Л. Принятие управленческих решений / Н.Л. Карданская. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 407 с.
23. Карпов, А.В. Психология принятия управленческих решений / А.В. Карпов. – М.: Юрист, 1998. – 440с.
24. Карпов, А.В. Психология стилей управленческих решений: учеб. пособие / А.В. Карпов, Е.В. Маркова. – Ярославль, Институт «Открытое общество», 2003. – 108 с.
25. Карпов, А.В. Психология менеджмента: учеб. пособие / А.В. Карпов. – М.: Гардарики, 2007. – 584 с.
26. Кини, Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М: Радио и связь, 1981. – 560 с.
27. Кнорринг, В.И. Теория, практика и искусство управления: учебник / В.И. Кнорринг. – М.: Изд. группа НОРМА–ИНФРА-М, 2001. – 528 с.
28. Корогодина, В.И. Информация как основа жизни / В.И. Корогодина, В.Л. Корогодина. – Дубна: Издат. центр «Феникс», 2000. – 208 с.
- Курицкий, Б.Я. Оптимизация вокруг нас / Б.Я. Курицкий. – Л.: Машиностроение, 1989. – 144 с.
29. Лавров А.Ю. Управленческие решения: учебное пособие.– Чита: ЧитГУ, 2005. – 205 с.
30. Ларичев, О.И. Объективные модели и субъективные решения / О.И. Ларичев. – М.: Наука, 1987. – 143 с.
31. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
32. Литвин, С.С. Дальнее прогнозирование развития ТС на базе ТРИЗ и ФСА / С.С. Литвин, В.М. Герасимов. – Рук. деп. в ЧОУНБ, 1987.
33. Лихолетов В.В. Управление (руководство) организацией: учеб. пособие / В.В. Лихолетов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 262 с.
34. Лихолетов, В.В. Типология задачных систем и их взаимосвязь в инженерном образовании, инженерном деле и изобретательстве / В.В. Лихолетов // Инженерное образование. – 2019. – Вып. 25. – С. 105–118.

35. Мартемьянов, Ю.Ф. Экспертные методы принятия решений : учеб. пособие / Ю.Ф. Мартемьянов, Т.Я. Лазарева. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2010. – 80 с.
36. Марьянович, А.Т. Эрратология или как избежать наиболее неприятных ошибок при подготовке диссертации А.Т. Марьянович. – М.: Вузовская книга, 1999. – 164 с.
37. Набатова, Д.С. Математические и инструментальные методы поддержки принятия решений: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / Д.С. Набатова. – М.: Юрайт, 2017. – 292 с.
38. Науман, Э. Принять решение – но как? / Э. Науман.; пер. с нем. – М.: Мир, 1987. – 198 с.
39. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа: учебник. – Томск: Изд-во НТЛ, 1997. – 396 с.
40. Петерсон О. Принятие решений для специалистов по управлению. – М.: Высшая школа бизнеса, 2002.
41. Поиск новых идей: от озарения к технологии / Г.С. Альтшуллер [и др.]. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1989. – 391 с.
42. Пригожин, А.И. Дезорганизация: Причины, виды, преодоление / А.И. Пригожин. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 402 с.
43. Пригожин, А.И. Управленческие идеи. Вы какое положение на рынке хотите занять? Как для этого должна измениться Ваша организация? / А.И. Пригожин. – М.: Ленанд, 2015. – 480 с.
44. Пурынычев, М.Ю. Авторитет и традиции в теории и практике принятия решений: философско-методологический анализ: автореф. дис. ... канд. философ. наук / М.Ю. Пурынычев. – М.: МГУ, 2013. – 26 с.
45. Ришар, Ж.Ф. Ментальная активность. Понимание, рассуждение, нахождение решений / Ж.Ф. Ришар; сокр. пер. с франц. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 1998. – 232 с.
46. Рубчинский, А.А. Методы и модели принятия управленческих решений: учебник и практикум / А.А. Рубчинский. – М.: Юрайт, 2016. – 526 с.
47. Сажнева, С.В. Зарубежный опыт принятия управленческих решений в условиях рыночной экономики и возможности его применения в России / С.В. Сажнева // Экономический анализ: теория и практика. – 2010. – №25(190). – С. 57–64.
48. Саймон Г.А. Рациональность как процесс и продукт мышления / Г.А. Саймон // THESIS. – 1993. – Вып. 3. – С. 16–38.
49. Сорина, Г.В. Принятие решений как интеллектуальная деятельность: монография / Г. В. Сорина. – М.: Гардарики, 2005. – 253 с.
50. Стрелков, Ю.К. Инженерная и профессиональная психология / Ю.К. Стрелков. – М.: Высш. шк. : Academia, 2001. – 358 с.
51. Теория и практика принятия управленческих решений: учебник и практикум / В.И. Бусов, Н.Н. Лябах, Т.С. Саткалиева, Г.А. Таспенова; под общ. ред. В. И. Бусова. – М.: Юрайт, 2016. – 279 с.

52. Трофимова, Л.А. Методы принятия управленческих решений: учебное пособие / Л.А. Трофимова, В.В. Трофимов. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2012. – 101 с.
53. Федосеев, А.В. Бизнес в шоколаде. Как делать долги, тратить деньги, ни за что не отвечать, отлично жить и иметь успешный бизнес / А.В. Федосеев, Б.М. Карабанов, Е.Ю. Добровольский, П.С. Боровков. – СПб.: Питер, 2010. – 480 с.
54. Филинов-Чернышев, Н.Б. Разработка и принятие управленческих решений: учебник и практикум для вузов / Н.Б. Филинов-Чернышев. – М.: Юрайт, 2017. – 308 с.
55. Халперн, Д. Психология критического мышления / Д. Халперн; пер. с англ. – СПб.: Питер, 2000. – 503 с.
56. Шейнин, О.Б. История теории ошибок / О. Б. Шейнин. – Берлин : NG Verl., 2007. – 176 с.
57. Эрроу К. Дж. Коллективный выбор и индивидуальные ценности / Дж. К. Эрроу; пер. с англ. – М.: Издат. дом ГУ ВШЭ, 2004. – 201 с.
58. Ярмак, Ю.В. Политические решения: теория и технологии / Ю.В. Ярмак. – М.: Перспектива, 2005. – 242 с.
59. Aleskerov F., Bouyssou D., Monjardet B. Utility Maximization, Choice and Preference. – Springer Verlag, Berlin, 2007. – 283 p.
60. Bolland Eric J., Lopes Carlos J. Decision Making and Business Performance.– Edward Elgar Publications, 2018. – 224 p.
61. Jeffrey Richard C. The Logic of Decision. – Chicago: University of Chicago Press, 1983. – 231 p.
62. Likholetov V., Aliukov S. Problems in Engineering Education, Engineering and Invention // International Journal of Engineering Education. 2019. Vol. 35, No. 6(A), P. 1605–1617.
63. Rasmussen Jens. Information processing and human-machine interaction: an approach to cognitive engineering. – Elsevier Science Ltd, 1986. – 215 p.
64. Rasmussen Jens, Pejtersen Annelise Mark, Goodstein L.P. Cognitive Systems Engineering. – John Wiley & Sons, 1994. – 396 p.
65. Reason James. Human Error. – Cambridge University Press, 1990. – 302 p.
- Reason James. Managing the Risks of Organizational Accidents. – Ashgate, 1997. – 252 p.
66. Simon Herbert A. Rationality as Process and as Product of Thought. Richard T. Ely Lecture // American Economic Review, May 1978, v.68, no.2. – P. 1–16.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### **«Цена» управленческих ошибок в различных сферах человеческой деятельности**

История человечества изобилует огромным количеством ошибок, сделанных руководителями разного уровня в разных сферах – от военной до хозяйственной. Из-за просчетов военачальников в прошлом гибли целые армии, а вследствие откровенно плохого руководства и амбиций государственных вельмож в ряде стран случались голод и другие несчастья. В последнее время появляется много книг, посвященных катастрофам и стихийным бедствиям<sup>141</sup>.

**Трагедия «Титаника».** Часто люди (вследствие недавней яркой экранизации) вспоминают трагедию «Титаника». Его капитану, Эдварду Смиту стоило бы быть осторожнее, ведь он знал, что корабль входит в зону с напряженной ледовой обстановкой, но не придавал этому значения. При этом он неоднократно получал предупреждения от капитанов других кораблей, что на пути могут попадаться айсберги. Корабль шел на максимальной для себя скорости примерно 21–22 узла (около 40 км/ч). Есть версия, что у него было задание максимально быстро преодолеть маршрут, чтобы корабль получил неофициальный приз «Голубая лента Атлантики». Такое задание дало руководство компании «Уайт Стар Лайн», владевшая «Титаником», «Атлантиком», «Британиком» и другими судами подобного класса.

**Рукотворная трагедия Арала.** Как известно, жизнь сельского населения в Средней Азии до революции находилась в прямой зависимости от воды. Дефицит воды приводил к потере урожая и закабалению дехкан. Дехкане осознавали подневольность правилам водопользования, поэтому должны были активно участвовать в поддержании ирригационной системы в рабочем состоянии.

За два послевоенных десятилетия после 1945 г. на территории республики Узбекистан были введены крупные каналы и водохранилища (Куйимозорское, Чимкурганское, Ташкентское). До середины 50-х гг. были построены Баяутский канал, им. Ю. Ахунбабаева, Эски Ангор. В 1954 г. сдано в эксплуатацию Касансайское водохранилище. Для обводнения новых земель в Голодной степи в 1961 г. был построен Южный Мирзачульский канал, а в 1968 г. – Центральный Мирзачульский коллектор. В 1965 г. по-

---

<sup>141</sup> Новоселов, В.Н. Тайны «сороковки» / В.Н. Новоселов, В.С. Толстиков. – Екатеринбург: ИПП «Уральский рабочий», 1995. – 448 с.; Ионина, Н.А. Сто великих катастроф / Н. Ионина, М. Кубеев. – М.: Вече, 2001. – 491 с.

строены Аму-Бухарский канал. В пустыне Кызылкум водой были обеспечены пастбища площадью более 300 тыс. га. В Мирзачульской степи появилось 10 новых районов, города Бахт, Гулистан, Дустлик, Пахтакор, Янгиер, около сотни колхозов и совхозов. Новые гидросооружения давали возможность освоить целинные земли. Однако непродуманное строительство подобных сооружений способствовало подъему грунтовых вод, что приводило к повторному засолению и заболачиванию освоенных земель, к высыханию садов и виноградников. Превышение допустимых норм забора воды из Амударьи и Сырдарьи (один лишь Каракумский канал протяженностью 1445 километров отобрал у Амударьи 45% ее стока) вело к обмелению Аральского моря<sup>142</sup>.

Дадим небольшую справку: Арал – бессточное солёное озеро, к морю его относят из-за больших размеров, как и Каспий. Оба – остатки древнего океана Тетис. В 1950-е Арал был четвёртым по площади озером мира (!), занимая около 68 тыс. км<sup>2</sup> с длиной 426 км, шириной – 284 км и глубиной до 68 м. Строительство оросительных каналов в Средней Азии началось ещё в 1930-х гг., оно интенсифицировалось в начале 1960-х. Водный баланс сохранялся ещё в конце 1950-х гг.: в Арал ежегодно поступало 64 км<sup>3</sup> воды, а испарялось – 63. Но с 1965 года вследствие сокращения речного стока уровень моря стал интенсивно падать. Арал стал мелеть – вода рек, впадавших в него, в возрастающих объёмах отводилась на орошение (площадь орошаемых земель с 1960 по 1990 гг. выросла с 4,5 до 7 млн га). Потребности в воде возросли с 60 до 120 км<sup>3</sup> в год, из них 90% приходилась на орошение, причем часто неэффективное.

С 1961 г. уровень озера понижался с возрастающей скоростью от 20 до 80–90 см/год. До 1970-х годов в Арале обитали 34 вида рыб. В 1946 г. в Аральском море отловлено 23 тыс. т. рыбы, в начале 1980-х показатель достигал 60 тыс. т. На казахской части Арала было 5 рыбозаводов, 1 рыбоконсервный комбинат, 45 рыбоприёмных пунктов, на узбекской (Каракалпакстан) – 5 рыбозаводов, 1 рыбоконсервный комбинат, более 20 рыбоприёмных пунктов.

В 1989 г. море распалось на два изолированных водоёма – Северное (Малое) и Южное (Большое) Аральское море. На 2003 г. площадь Арала составила 1/4 первоначальной, а объём воды – до 10%. В 2005 г. закончена 17-ти километровая Кокаральская дамба (высотой 6 м и шириной около 300 м), отгородившая Северный Арал от остальной части. Сток Сырдарьи теперь скапливается лишь в этом водоёме, благодаря чему уровень воды постепенно растёт. Это позволило не только уменьшить солёность воды, но и разводить промысловые сорта рыб в Северном Арале. А в перспективе это должно помочь и в восстановлении флоры и фауны Приаралья. Се-

---

<sup>142</sup> Алимova Д.А. и др. История Узбекистана (1917–1991). – Ташкент, 2002. – С. 197–198.

годня рыбный промысел сохранился только в Малом Арале, а в Большом Арале из-за его засолённости вся рыба погибла.

**Челябинский Чернобыль.** В конце сентября 1957 г. на одном из сверхсекретных объектов СССР, располагавшемся в городе «без названия», прогремел взрыв. Тайна скрывалась более 30 лет, и долгие годы об этом взрыве знали лишь те, кто находился в районе катастрофы. Теперь известны и название «секретного» города – Челябинск, и предприятие, на территории которого произошел взрыв, – комбинат «Маяк», который был известен также под названием «Челябинск-40». Затем первенец атомной промышленности стал называться «Челябинск-65», теперь он известен как город Озерск.

Взрыв произошел из-за радиационного перегрева одной из емкостей для хранения жидких высокоактивных отходов. В течение 7 лет от ядерных отходов избавлялись простым способом – их просто-напросто сбрасывали в реки Теча и Исеть. А потом ещё два раза (по семь лет) отходы сбрасывались в озеро Карачай. Авторы книги «Тайна «сороковки» В.Н. Новоселов и В.С. Толстикова, пишут, что 29 сентября 1957 г. был воскресный солнечный день. Горожане занимались своими повседневными делами, многие из них находились на стадионе «Химик», где проходил футбольный матч за призовое место между двумя ведущими командами города.

Примерно в 16 часов 30 минут раздался грохот взрыва в районе промышленной площадки. Далеко не все жители города обратили на него внимание. В то время на многих строящихся объектах мирные взрывы не были редкостью. Как рассказывают очевидцы, после взрыва поднялся столб дыма и пыли высотой до километра, который мерцал оранжево-красным светом. Это создавало иллюзию северного сияния.

Так, почти за 30 лет до Чернобыля произошла одна из серьезнейших аварий на химкомбинате «Маяк». В течение долгого времени все сведения о ней держались в глубокой тайне. Практически ничего не знали о ней и на Западе. Только в 1979 г. в США была опубликована книга ученого-биолога и известного советского диссидента Ж. Медведева «Ядерная катастрофа на Урале», которая и рассказала о трагедии 1957 года. Однако и после выхода книги многие американские специалисты, продолжали считать, что русские проводили испытания своего ядерного оружия на Новой Земле и после этого радиоактивное облако опустилось именно на Южном Урале.

Сейчас уже опубликовано немало брошюр и статей, посвященных созданию в нашей стране атомного производства. А тогда никто и не знал, что 20 млн кюри радиоактивных веществ вырвалось на волю. Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) накрыл территорию в 250 км<sup>2</sup> с населением в 270 тыс. человек.

**«Челленджер», взорвавший небо.** Старт космического корабля, который НАСА разрешила транслировать по телевидению прямо с места события, был назначен на 28 января 1986 г. на 9 часов 38 минут местного вре-

мен с мыса Канаверал (штат Флорида). Неожиданно он был перенесен на два часа пополудни. Обнаружились небольшие неполадки в герметической системе запоров люков: ничего страшного, специалисты обещали все быстро устранить. Вот, наконец отсчет времени пошел на секунды: до старта осталось – три, две, одна... Мощный гул и яркое пламя вырвалось из сопел «Челленджера». Чуть покачиваясь, он оторвался от стартовой площадки и поднялся в небо, оставляя позади себя серебристый шлейф. Зрители внимательно следили за полетом. Космическое время начало свой отсчет. Одна секунда, вторая, третья...

Полет проходил в штатном режиме. Скорость космического корабля достигла трех тысяч километров, высота – семнадцати километров. Кажется, можно вздохнуть с облегчением: старт состоялся. Но... Шла 73-я секунда полета, как вдруг в небе вспыхнул яркий желтый жар. То, что было космическим кораблем, в мгновение ока превратилось в белое пузырящееся раскаленное облако, словно десятки реактивных истребителей расчертили небо. «Челленджер» на глазах тысяч зрителей, присутствующих на мысе Канаверал, и миллионов телезрителей, наблюдавших за стартом, взорвался. Семьсот тонн кислорода и водорода, ракетного топлива вместе с семью космонавтами сгорели в атмосфере.

При расследовании катастрофы эксперты не смогли прийти к определенным выводам. Высказывались предположения о причинах, в частности о том, что на топливных баках вследствие высокой температуры могли образоваться трещины и вытек керосин, который, смешавшись с кислородом, мог послужить причиной взрыва. И все же большая часть экспертов склонялись к той версии, что взрыв мог произойти из-за повреждений в ускорителе первой ступени с твердым топливом. Затем по цепочке взорвались топливные баки. Не отрицалась также и другая версия, согласно которой один из топливных баков в момент старта из-за тряски мог выйти из своего укрепления и ударить по самой ракете, отчего и произошел взрыв.

Точный ответ на этот вопрос человечество вряд ли когда не узнает. После такой крупнейшей катастрофы НАСА было вынуждено прекратить полеты в космос. Все 15 запланированных вылетов «Шаттл» на 1986 г. были отменены. Ответственные работники Управления по космическим полетам давно знали, что наиболее уязвимыми местами в комплексе «Шаттлов» были именно твердотопливные ракеты. Инженеры фирмы, на которой производили ракеты, хотели перенести старт, чтобы еще раз проверить все системы безопасности, но НАСА не пожелало откладывать полет. Проведенные несколькими комиссиями расследования показали, что нормы гарантии безопасности полетов НАСА нарушало и в прошлом. Во многих случаях космонавты подвергали себя смертельному риску, но до поры до времени им помогал его величество «Счастливый случай». В этот раз все произошло иначе.

Ниже в таблице П1 нами приведена краткая информация о ряде страшных техногенных аварий, случившихся из-за человеческих ошибок только за последние 50 лет.

Таблица П1

Перечень ряда страшных техногенных аварий за последние 50 лет

Год, месяц, день	Страна, регион, город	Суть аварий и их последствия
1	2	3
1971, конец года	Ирак	Отравление людей. По официальной статистике погибло до 6 тыс. чел., а по неофициальной – до 100 тыс., а 3 млн пострадали косвенно. Из Мексики поступила партия зерна (95 тыс. тонн), обработанного метилртутью. На мешках по испански было написано, что зерно непригодно для еды (предназначались для проращивания – это семенной материал, т.к. до этого в стране была засуха и было решено закупить зерно для посевов). Никто не знал испанский язык и зерно начали употреблять в пищу.
1984, 3 декабря	Индия, Бхопал	На химзаводе пестицидов Union Carbide (США), произошел взрыв бака с метилизоцианатом (из-за перегрева – вещество закипает при температуре выше 38°C). Вырвалось 42 т паров вещества, накрывших город (до 1 млн чел. Официально жертв – 15 тыс. (неофициально – 20 тыс. чел.). Пострадало до 700 тыс. чел., не считая отклонений у потомства. Правительство Индии получило компенсацию в 470 млн долл. (требовали 3,3 млрд). Пострадавшие получили компенсацию по 500 долл.(!)
1986, 26 апреля	СССР, Чернобыль	Авария на Чернобыльской АЭС. В первые минуты погиб 31 чел. В течение 10 лет с момента аварии умерло 4 тыс. ликвидаторов и местных жителей. Много людей пострадало от радиоактивного облака от станции (по разным подсчетам – до 1 млн человек!), оно прошло территории СССР и Европы, и даже фиксировалось в США. Причина: большое число нарушений на самой станции, включая ошибки при строительстве. На АЭС должны были идти испытания по переключению питания от реактора на дизель-генераторы, их перенесли на тот день, когда на станции работала неподготовленная бригада. Когда мощность реактора стала лавинообразно расти, вместо ликвидации ситуации включили аварийную защиту, которая все усугубила
1986, 31 августа	СССР, Новороссийск, Цемеская бухта	Крушение теплохода «Адмирал Нахимов». Ночью, в 23-20, судно столкнулось с сухогрузом «Петр Васев», был затоплен электрогенератор и на «Нахимове» пропал свет. Судно стало неуправляемым и двигалось по инерции вперед. В результате столкновения в правом борту образовалась пробоина до 80 м <sup>2</sup> . Среди пассажиров началась паника, многие перелезли на левый борт и спустились на воду. На борту корабля находились 1234 человека, 423 из них погибли
1988, 6 июля	Северное море	Авария на нефтяной платформе «Piper Alpha» (была построена в 1976 г.). Погибло 167 человек, компания понесла убыток около 3,5 млрд долл.

1	2	3
2000, 12 августа	Россия, Баренцево море	Крушение российской атомной подлодки «Курск», погибло 118 человек. Официальной версией причины трагедии назван взрыв учебной торпеды, который произошел в результате утечки топлива
2010, 20 апреля	США, Мексиканский залив	На нефтеплатформе «Deerwater Horizon» в результате разрыва труб в море вылилось порядка 5 млн баррелей нефти, образовав пятно размером 75 тыс. кв. км – 5% площади залива (!). Погибли 11 человек, 17 получили увечья
2012, 14 января	Италия, возле Тосканы	Круизный лайнер «Коста Конкордия» напоролся на скалу, образовалась пробоина в 70 м <sup>2</sup> . На корабле было более 4 тыс. человек, эвакуация шла всю ночь, но 32 человека погибли, а 100 пострадали
2016, декабрь	Россия, Адлер	Крушение Ту-154 Минобороны РФ. Погибло 92 человека, среди них 64 артиста ансамбля имени А.В. Александрова, 9 известных ведущих телеканалов, Е.П. Глинка (известная как Доктор Лиза, глава благотворительного фонда), 8и военных, 2 госслужащих и все члены экипажа самолета. Причинами аварии названы: перегрузка самолета, усталость экипажа и его низкий профессиональный уровень подготовки и организации полета
2020, 29 мая	Россия, Норильск	Крупная утечка топлива на ТЭЦ-3 в Норильске. Там произошел пожар, площадь которого охватила 350 м <sup>2</sup> . Причиной ЧП – автомобиль, врезавшийся в хранилище с дизельным топливом. Возгорание не повлияло на работу ТЭЦ-3, в результате происшествия никто не пострадал. Однако вскоре стало известно, что из-за аварии произошла разгерметизация, а горюче-смазочные материалы разлились. Это немало: 21 тыс. тонн нефтепродуктов: примерно 6 тыс. тонн «ушло» в грунт, 15 тыс. тонн – в водные объекты. Площадь загрязнения – 180 тыс. м <sup>2</sup> . Ущерб, по оценкам экологов, может превысить 86 млн долл.

## Приложение 2

### Смешное (и не очень) в сфере принятия управленческих решений

Давно и хорошо известно, что наличие чувства юмора – яркий признак ума, а это очень важно для руководителя любого уровня. Юмор способен помочь руководителю в сложных и конфликтных ситуациях, которые случаются постоянно при работе с людьми. «Что сделалось смешным, не может быть опасным» – говорил ещё Вольтер. Есть мнение академика АН СССР Д.С. Лихачева о том, что заставить рассмеяться аудиторию – это значит наполовину её убедить в своей правоте. Практически невозможно сказать, где заканчивается управленческая работа. Она идет не только на производственных совещаниях (где юмор порой весьма уместен), но и продолжается даже во время культурных и спортивных мероприятий, в которых участвуют сотрудники компаний (типа «веревочных курсов»), ори-

ентированных на построение команды – team building), а также корпоративных праздников, когда руководителям приходится держать слово и произносить тосты<sup>143</sup>.

Не случайно сегодня юмор активно используется в сфере управленческого консультирования, при проведении социально-психологических тренингов, тренингов личностного роста (табл. П2).

Таблица П2

Примеры тренингов с использованием средств юмористики

Авторы	Название тренинга	Цель и характеристика
Аракчеев А.	Как научиться смешно шутить ( <a href="http://hahumor.ru/funny-jokes-training/">http://hahumor.ru/funny-jokes-training/</a> )	На основе книги: Аракчеев, А. О качественном юморе или смех любит троицу. – 2011. – 58 с. – <a href="http://hahumor.ru">http://hahumor.ru</a>
Буряков Е.А., профессиональный бизнес-тренер	Острословие, ирония. Приемы юмора. Или как избавиться от привычки лазить за словом в карман (16 часов: 2 дня по 8 часов)	Развитие чувства юмора, выработать навык острословия, демонстрация мощи юмора и примеров, как с помощью острословия и иронии можно управлять людьми. Используется электронная книга: Буряков Е.А. Первый учебник по острословию и юмору
Васильев Л.А., НЛП-мастер, тренер ораторского искусства высшей категории; Шелевей И.С.	Как развить чувство юмора и научиться шутить	Бесплатный онлайн-тренинг
	Юмор. Базовый (24 урока по 20-60 мин.). Юмор. Продвинутый (после базового). Чувство юмора, как антикризисное средство (8–12 занятий по 45–60 мин)	Платные онлайн-курсы (проект «Международная академия юмора» – <a href="http://humorlab.ru">http://humorlab.ru</a> )
Филонова Е.Л., бизнес-тренер, психолог, сертифицированный коуч, мастер НЛП	Юмор – антистресс (16 часов: 2 дня по 8 часов)	Делание страшного, печального, трагичного, серьёзного смешным. Механизмы смешного, развитие креативности, преодоление чувства собственной важности через юмор, путь харизматичности, юморотворческие техники во взаимоотношениях с другими людьми, юмор для заштопывания когнитивных диссонансов, десакрализации ложных кумиров
	Провокативная юморотерапия (64 часа)	Разрушение направленной агрессии, изменение эмоционального состояния, ведение диалога с чувством защищенности, разрушение отяжеляющих жизнь интроектов на восстановление, приобретение нового опыта поведения

<sup>143</sup> Житникова Т.Л., Поливанова Е.А. Анекдоты, пословицы и поговорки в помощь психологу в наркологии. – М: Фонд НАН, 2001. – 232 с.; Шейнов, В.П. Тренинг остроумия: тесты, тосты. – Минск: Харвест, 2010. – 352 с.

Приведем примеры смешных случаев принятия решений в различных сферах человеческой деятельности (табл. ПЗ).

Таблица ПЗ

Смешные и поучительные случаи принятия решений в различных сферах деятельности

Сфера	Описание случая, источник информации
1	2
Совещания в компаниях	Долгие заседания идут в ущерб производительности и эффективности работы предприятия. Итальянский премьер-министр Сильвио Берлускони, выступая на национальной конференции руководителей предприятий, познакомил собравшихся со своим собственным рецептом. В тот период, когда Берлускони занимался предпринимательством, этот метод принес более чем удовлетворительные результаты. Он кардинально решил проблему долгих совещаний – убрал стулья из зала заседаний. Поэтому всем приходилось стоять. Время проведения совещаний сократилось с трех часов до 20–30 минут. Все были довольны, да и производительность возросла (газета «Советская Россия», 2003 г., № 15)
Наука	В 1802 г. французский ученый Жозе Луи Гей-Люссак проводил в Париже научные опыты. Ему были нужны стеклянные трубки, которые тогда вырабатывались стеклодувами только в Германии. Когда ученый их выписал, французские таможенники наложили такую высокую пошлину, что он не мог выкупить посылку. Об этом узнал Александр Гумбольдт и решил помочь Гей-Люссаку. Он посоветовал отправителям запаять концы трубок и наклеить на них этикетки: «Осторожно! Немецкий воздух!» Воздух? Таможенного тарифа на воздух не существовало, и на этот раз трубки дошли до французского ученого без всяких пошлин
Маркетинг и реклама	Самую популярную рекламную кампанию во времена царской России провел Николай Шустов. Чтобы полностью захватить рынок алкогольных напитков, он придумал изощренный маркетинговый ход. Он нанимал людей, которые ходили по трактирам и ресторанам и требовали водку «Шустов». Когда им отказывали, они затевали драку. Задержанных полицией Шустов обычно выкупал из полицейских участков. Естественно, информация о причинах драк очень быстро попала в газеты и уже через несколько недель все питейные заведения продавали алкогольные напитки «Шустов». Начали даже сочинять песни и слагать оды, прославлявшие разнообразные настойки и наливки, коньяки и водки
Брендинг товаров и услуг	Некая японская фирма маркирует свои товары надписью «MADE IN USA». С ней уже бросили судиться – дело совершенно безнадежное. Тамошние управленцы просто перевели офис фирмы в маленький японский городок Юса. Как к ним все-таки придраться – пока не нашел никто
Найминг	Менеджер лондонского кафе на Грейс-Инн-роуд дал ему новое название - и сразу увеличил доход. Как именно? Он назвал его «Zzzzzz» – и сразу его заведение оказалось в самом конце телефонного справочника, после чего число обращений туда с заказами резко возросло. Английские телефонные книги так тяжело листать. То ли дело просто заглянуть в конец.
Сфера продаж	Раньше в тюбиках зубной пасты было маленькое отверстие – всего 2 мм. Компании Colgate было необходимо срочно повысить продажи, так что они объявили открытый конкурс на лучшую идею. Один сотрудник предложил увеличить отверстие в тюбике. Тогда это казалось глупой и нерациональной

1	2
	идеей, хотя в конце концов в Colgate решили рискнуть и попробовать. Итог известен любому человеку, который когда-либо чистил зубы – эти отверстия и по сей день большого размера. Суть в том, что путём увеличения диаметра отверстия увеличить количество разово потребляемой пасты. Вследствие этого, людям приходилось чаще покупать новый тюбик, и продажи резко выросли
Пожарная безопасность	На корабль прибыла комиссия, которая, помимо прочего, проверяла противопожарную безопасность. Представители комиссии подошли к пожарному щиту и начинают перечислять капитану недостатки: ведро не сплющено, щит не покрашен, багор не заточен... «Секундочку, – перебивает их капитан, снимает пожарный щит и бросает его за борт, – пишите одно замечание – нет пожарного щита» (Скрипюк И. 111 Бак для тренеров: истории, мифы, сказки, анекдоты. – СПб.: Питер, 2011, с. 124).

### Афоризмы и анекдоты про ошибки в деле принятия решений

Чтобы принять хорошее решение, нужно хорошо принять.

Сложную проблему решили гениально просто: её признали неразрешимой.

Нет ничего труднее, чем найти решение, которое было проще простого.

Хорошее настроение – не повод для плохих решений.

– Доктор, я испытываю чудовищный стресс!

Я работаю укладчицей, зелёные драже складываю в зелёные коробки, а жёлтые – в жёлтые коробки...

– И в чём проблема?

– Я каждую секунду вынуждена принимать решения!

Идут два студента-медика, впереди какой-то странной походкой идет старичок. Один из студентов ставит диагноз:

– Геморрой.

– Скорее, паркинсонизм, – говорит второй.

– Спорить будем?

– Ну давай!

Подошли к старичку и спрашивают, что же у того, и рассказывают о пари.

– Все мы немножко ошиблись, – говорит старичок. Вы думали, что у меня

– геморрой, вы – что паркинсонизм, а я думал, что просто пукну, и ошибся...

– Человеку свойственно ошибаться...

– издали начал командир воинской части разговор с женой сапера...

Учительница, проверив сочинение Вовочки:

- Это невероятно, что один человек может сделать так много ошибок!
- Почему один – вместе с папой!

В новогоднюю ночь в вытрезвитель было доставлено пятьдесят человек и четырнадцать снеговиков. – Причина ошибки полицейских выясняется.

Когда третий месяц подряд ребенку ничего не задавали в школе, родители поняли, что строить отношения на абсолютном доверии было ошибкой.

- Василий, ты уже вторую сумку теряешь!
- Я же работаю! А в работе возможны ошибки...
- Но ты же инкассатор!

### **Анекдоты о критериях принятия решений**

#### **Эффективность решения**

Учитывая высокую эффективность решения всех вопросов граждан в процессе проведения «прямых линий» с Президентом, предлагаю: сделать их еженедельными, а всех чиновников сократить за ненадобностью.

Сократив сотни римских и греческих богов до одного христианского, человечество провело непревзойденную до сих пор по эффективности реформу по сокращению административного аппарата.

#### **Экономичность решения**

Экономия - это когда штопаешь носки нитками от чайных пакетиков.

Когда речь идет об экономии, перед затратами не останавливаются.

Подстригся максимально коротко, чтобы не надо было расчесываться. И в зеркало теперь не надо заглядывать – экономия отражений.

Экономика зависит от экономистов в той же степени, в какой погода зависит от метеорологов.

- Господин министр, говоря о нашей экономике вы бы сказали, что стакан наполовину пуст или наполовину полон?
- Я бы сказал, что стакан украли вчера.

#### **Обоснованность решения**

Если вы считаете, что ваш стакан наполовину пуст, перелейте его содержимое в стакан поменьше и перестаньте ныть.

### Своевременность решения

Раньше я любил лето, но потом понял, что лето может быть в любое время года, были бы деньги... Теперь я люблю деньги.

Вы заметили, что фразу «В это непростое для страны время...» в России можно использовать в любое время?

### Гибкость решения

На форуме блондинок:

– Шеф сказал, что я недостаточно гибкая с клиентами. Подскажите хорошие курсы йоги.

Бухгалтер – директору:

– С Нового года законы гибче будут...

– Это как?

– Ну, захотят – нагнут...

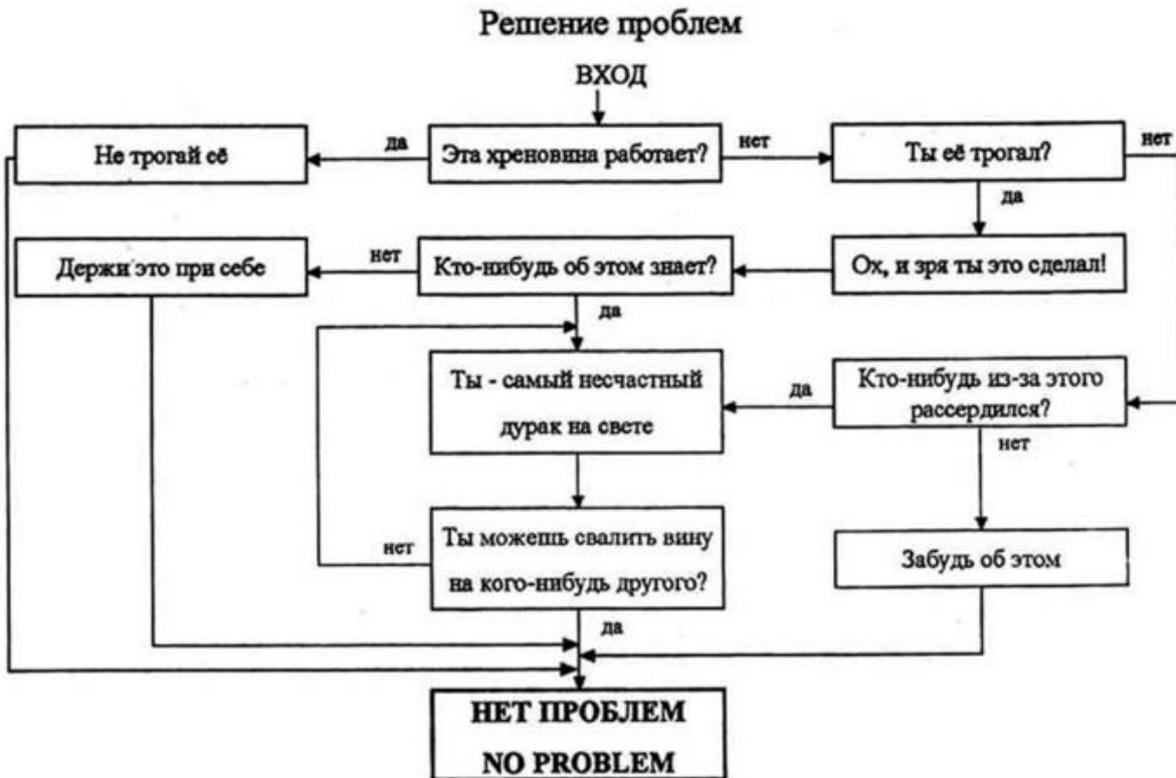
### Реалистичность решения

После предложения «Пора валить» пессимисты спрашивают – «Куда?», оптимисты – «Кого?», а реалисты – «Из чего?».

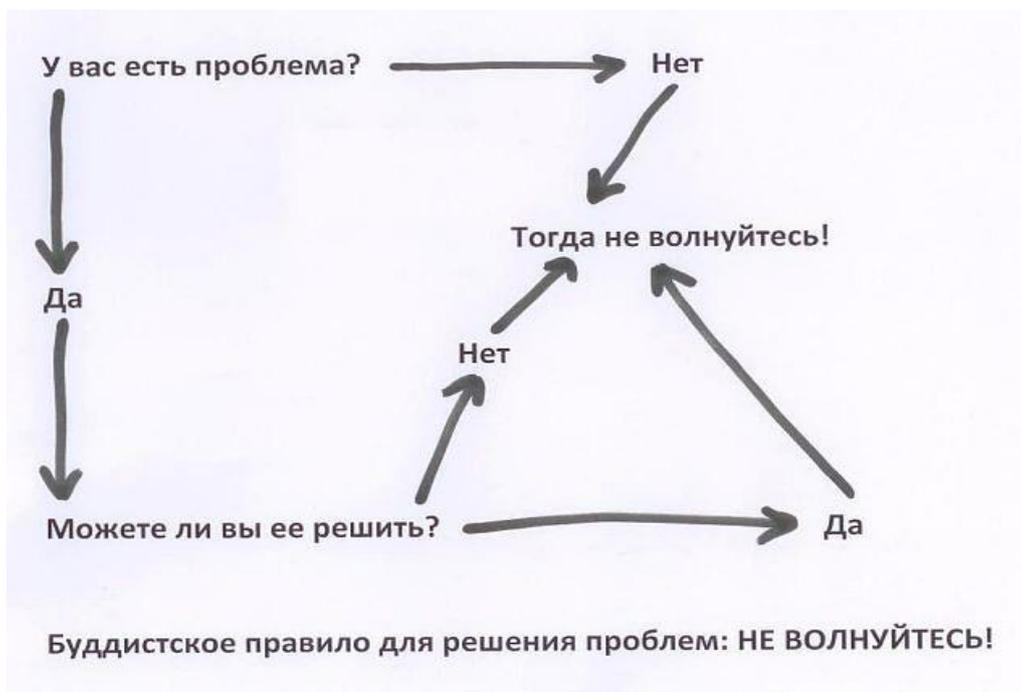
Пессимист видит туннель. Оптимист – свет в конце туннеля. Реалист видит туннель и поезд, идущий по рельсам. А машинист видит трех идиотов, сидящих на рельсах.



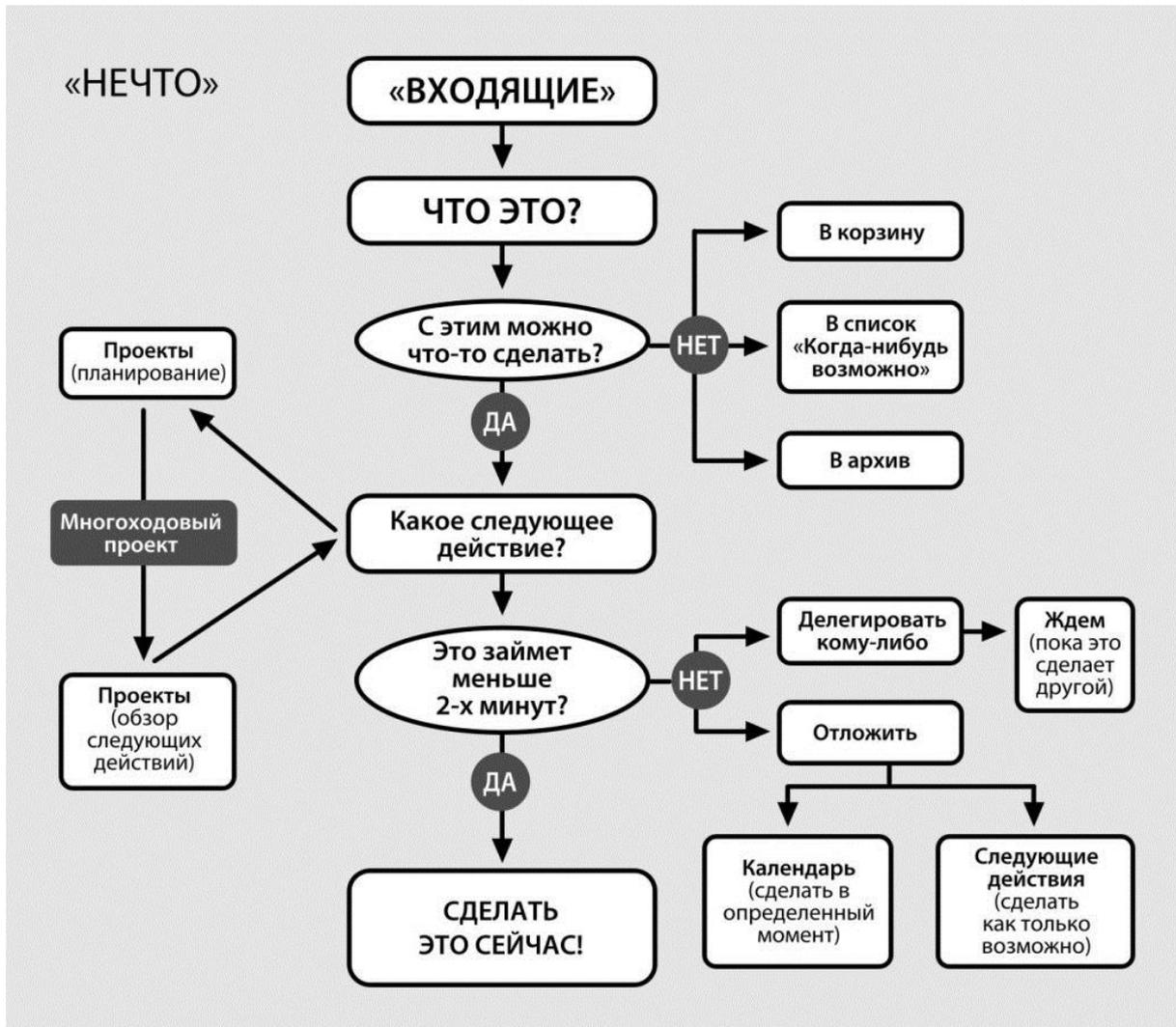
## Юмористические рекомендации по решению проблем



Так рекомендуют относиться к проблемам буддисты



## Алгоритм принятия решений на все случаи жизни<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Челпанов, В.Г. Учебник логики / В.Г. Челпанов. – М.: Научная Библиотека, 2010. – С. 125–127.