



А. И. Афоничкин, Д. Г. Михаленко

Управленческие решения в экономических системах

Рекомендовано Советом Учебно-методического объединения вузов
России по образованию в области менеджмента в качестве учебника
по специальности «Менеджмент»



Москва • Санкт-Петербург • Нижний Новгород • Воронеж
Ростов-на-Дону • Екатеринбург • Самара • Новосибирск
Киев • Харьков • Минск

2009

ББК 65.9(2)12я7
УДК 338.22.021(075)

*Афоничкин Александр Иванович
Михаленко Дмитрий Геннадьевич*

УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Серия «Учебник для вузов»

Рецензенты:

Д. э. н., проф., Османкин Н. Н., зав. кафедрой «Менеджмент» Самарского
государственного аэрокосмического университета;
д. э. н., проф. Волкова В. Н. (Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет).

Заведующий редакцией
Руководитель проекта
Ведущий редактор
Выпускающий редактор
Литературный редактор
Художник
Корректоры
Верстка

*С. Жильцов
Е. Базанов
О. Кувакина
Е. Маслова
В. Земских
С. Маликова
М. Одинокова, Н. Сулейманова
В. Земских*

Афоничкин А. И., Михаленко Д. Г.

А94 Управленческие решения в экономических системах: Учебник для вузов. —
СПб.: Питер, 2009. — 480 с.: ил. — (Серия «Учебник для вузов»).

ISBN 978-5-388-00405-5

В учебнике рассматриваются методы принятия управленческих решений в условиях различных проблемных ситуаций, возникающих в экономических системах. Приводятся основные понятия, классификация проблем и адекватных методов их разрешения, методы их структуризации и описания. Существенное внимание уделено автоматизированной поддержке процедур принятия решений и задачам в нечетких условиях. Особенностью издания является методика решения типовых задач с обоснованием методов выбора рационального решения.

Учебник подготовлен в соответствии с программой курса «Управленческие решения», входящего в специальность «Менеджмент организаций и государственных муниципальных образований». Предназначен для студентов экономических специальностей всех форм обучения, может быть полезен для всех интересующихся проблемами эффективного принятия решений в менеджменте, бизнесе и на производстве. Рекомендовано Советом Учебно-методического объединения вузов России по образованию в области менеджмента в качестве учебника по специальности «Менеджмент организации».

© ООО «Питер Пресс», 2009

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-388-00405-5

ООО «Питер Пресс», 198206, Санкт-Петербург, Петергофское шоссе, д. 73, лит. А29.
Налоговая льгота — общероссийский классификатор продукции ОК 005-93, том 2; 95 3005 —
литература учебная.

Подписано в печать 16.10.08. Формат 60×90/16. Усл. п. л. 30. Тираж 3000. Заказ
Отпечатано с готовых диапозитивов в ГИПК «Лениздат» (типография им. Володарского)
Министерства РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
191023, Санкт-Петербург, наб. р. Фонтанки, 59.

Оглавление

Введение	6

Раздел 1. Общие проблемы принятия управленческих решений

Глава 1. Проблемы принятия решений в управлении экономическими системами	10
1.1. Общие проблемы принятия управленческих решений	10
1.2. Моделирование управленческих процессов	25
1.3. Модель представления информации в управлении экономическими системами	35
1.4. Модель информации в процессе принятия решения	49
1.5. Эффективность управления в современных условиях	57
1.6. Принятие решений в уникальных проблемных ситуациях	70
Глава 2. Основные понятия и категории теории принятия решений	75
2.1. Основные определения и постановка задачи принятия решений	75
2.2. Классификация задач принятия решений	86
2.3. Классификация управленческих решений	90
Глава 3. Технология принятия решений.	107
3.1. Формирование и оценка решений.	107
3.2. Подготовка к выбору решения	109
3.3. Технологический процесс принятия решений	119
3.4. Моделирование процедур принятия решений	126
Глава 4. Описание и анализ проблемной ситуации	129
4.1. Методы описания проблемной ситуации	129
4.2. Процедуры анализа проблемной ситуации	138
4.3. Задача измерения характеристик проблемной ситуации	144
4.4. Методы субъективных измерений характеристик.	151
4.5. Критерии выбора: методы формирования интегрального критерия	155

Раздел 2. Методы принятия решений в структурированных проблемных ситуациях

Глава 5. Принятие решений в структурированных ситуациях	160
5.1. Методы решения задач типа <i>J</i> . Поиск оптимального решения	161
5.2. Аналитическое решение задачи линейной оптимизации (симплекс-метод)	166
5.3. Автоматизированное решение задачи линейной оптимизации (Excel)	171
5.4. Методы решения задач типа <i>JA</i> . Принцип гарантированного результата	177
5.5. Принцип оптимизма (максимакса)	183

5.6. Принцип Гурвица	188
5.7. Принцип Сэвиджа (минимаксного сожаления)	194
Глава 6. Групповой выбор для структурированных задач	204
6.1. Принятие решений в задачах типа G	204
6.2. Процедура выбора в структурированных задачах типа GA	207
Глава 7. Примеры решения структурированных задач	213
7.1. Пример 1	213
7.2. Пример 2	217
7.3. Компьютерное решение задачи выбора	223
 Раздел 3. Методы решения сложных проблемных ситуаций	
Глава 8. Решение многокритериальных задач	227
8.1. Постановка и виды многокритериальных задач	227
8.2. Методы решения многокритериальных задач с неструктурированными критериями	232
8.3. Методы аналитического построения метрики расстояния	243
Глава 9. Компьютерное решение неструктурированных задач многокритериального выбора	249
9.1. Обоснование метода выбора инвестиционного решения	250
9.2. Выбор наилучшего проекта с использованием лексикографического метода	252
9.3. Выбор проекта на основании метода смещенного идеала	256
9.4. Задача выбора оборудования	263
Глава 10. Методы решения многокритериальных задач со структурированными критериями	275
10.1. Метод дерева целей (метод анализа иерархий)	275
10.2. Решение задач методом анализа иерархии	281
Глава 11. Примеры компьютерного решения многокритериальных задач	293
11.1. Применение методов оптимизма, пессимизма, Гурвица, Сэвиджа ...	293
11.2. Применение метода «смещенного идеала»	301
11.3. Применение метода анализа иерархий	319
Глава 12. Примеры многокритериального выбора с иерархической группировкой критериев	335
12.1. Решение примера 1	335
12.2. Решение примера 2	339
 Раздел 4. Методы принятия решений в неструктурированных ситуациях	
Глава 13. Принятие решений в условиях риска и неопределенности	347
13.1. Задачи выбора в условиях риска и неопределенности	347

13.2. Классификация неопределенностей в задачах управления	357
13.3. Принятие решений в условиях вероятностной определенности (риска)	360
13.4. Методы анализа последствий событий и деревьев решения	365
13.5. Методы выбора в условиях полной или частичной неопределенности	372

Раздел 5. Экспертные (групповые) методы выбора в сложных задачах принятия решений

Глава 14. Задачи группового выбора: классификация и методы решения	379
14.1. Постановка и формализация групповых задач принятия решения (задачи типа G)	381
14.2. Классификация задач группового выбора	385
14.3. Методология проведения процедуры группового выбора	393
Глава 15. Методология решения задач группового выбора	409
15.1. Методы принятия решений группой экспертов	409
15.2. Виды группового согласования экспертных решений	412
Глава 16. Статистическая обработка экспертных оценок при групповом согласовании	416
16.1. Методы группового согласования при принятии решения	418
16.2. Модель групповой оценки объектов выбора	420
16.3. Модели согласования экспертных оценок	426
Глава 17. Примеры проведения экспертной оценки	431
17.1. Оценка степени компетентности эксперта	431
17.2. Пример решения задачи типа GA	435

Раздел 6. Автоматизация процедур принятия решений

Глава 18. Концепция систем поддержки процессов управления и принятия решений	444
18.1. Требования и назначение систем поддержки процессов принятия решений	444
18.2. Функции систем поддержки процессов принятия решений	448
18.3. Технология применения систем поддержки принятия решений ...	450
Глава 19. Экспертные системы в управлении	457
19.1. Особенности, характеристики и реализация экспертных систем ...	459
19.2. Работа с типовыми управленческими ситуациями (модуль стандартных ситуаций ЭС)	465
19.3. Логическая структура информационного фонда и алгоритм функционирования модуля БСС	471
19.4. Структура системы модельной поддержки	476

ВВЕДЕНИЕ

В теории управления экономическими системами одной из важнейших проблем менеджмента считают процесс принятия управленческих решений. Многие специалисты по теории общего и функционального менеджмента прямо связывают управленческую деятельность в первую очередь с подготовкой и реализацией управленческих решений. Эффективность управления во многом обусловлена качеством таких решений. Интерес к этой проблеме обусловлен тем, что в решениях фиксируется вся совокупность финансово-экономических отношений, возникающих в процессе трудовой деятельности и управления организацией.

Анализ полного цикла управленческой деятельности, состоящего из целеполагания, планирования, выбора решения, организации, координации и корректировки целей и альтернатив, позволяет представить эту деятельность в виде двух базовых элементов — подготовки и реализации управленческих решений.

Процесс принятия решений начинается с возникновения проблемной ситуации и заканчивается действиями по устранению проблемы. Под проблемой при этом понимается соответствие состояния управляемого объекта целям, поставленным управляющим субъектом (руководителем). Перевод управляемого объекта в желаемое состояние (управление) производится в целях устранения возникшей проблемы.

В управленческой литературе существуют разные точки зрения на цели, объекты, методы, инструменты и процессы контроля при принятии решения. К управленческим решениям обычно относят такие воздействия на экономические отношения, которые связаны с проведением эффективных изменений в организации. В процессе принятия управленческих решений важную роль отводят лицу, принимающему решение (ЛПР), для него определяют границы компетенции, в рамках которых он действует, требования и ограничения формальной структуры проблемной области.

Подготовка управленческих решений в современных организациях нередко отделена от функции их принятия и предусматривает работу целого коллектива специалистов. В «классической» теории управления она, как правило, является функцией штабных служб.

Процесс осуществления решения связан с реализацией плана, который представляет собой совокупность мероприятий, направленных на достижение целей, и сроков их реализации. Разработка такого плана — прерогатива соответствующих служб в аппарате управления.

Таким образом, принятие решений — одна из составных частей любой управленческой функции. Необходимость принятия решений пронизывает все, что делает управляющий, формулируя цели и добиваясь их достижения. Поэтому понимание природы принятия решений важно для всякого, кто хочет преуспеть в искусстве управления.

Принятие решений базируется на информации о содержании проблемной ситуации и связано с обменом и восприятием информации. С точки зрения выполняемых функций процесс принятия решений является составной частью и важным элементом управленческой деятельности. Необходимость принятия решений возникает на всех этапах процесса управления. Поэтому так важно понять природу и сущность решений.

Процесс принятия решений включает три необходимых элемента процесса выбора:

- проблема (проблемная ситуация), требующая разрешения;
- человек или коллективный орган, принимающий решение;
- несколько вариантов решений, из которых осуществляется выбор или на базе которых формируется наиболее приемлемое (рациональное) решение.

В результате выбора и генерируется решение. Таким образом, решение — это выбор альтернативных возможностей изменения проблемы в сторону ее улучшения и снятия неопределенности.

Объектом управленческих решений могут являться как виды деятельности, так и отдельные элементы — предприятие в целом, его отдельные структурные подразделения (производственные цеха, отдел снабжения, бухгалтерия, отдел сбыта, отдел маркетинга и т. д.), отдельные экономические показатели (оборот, прибыль, издержки и т. д.), а также элементы процессов производства и сбыта продукции (упаковка товаров, хранение, транспортировка, реализация). В частности, объектом принятия решения могут быть следующие виды деятельности: техническое развитие, организация основного и вспомогательного производства, маркетинговая деятельность, экономическое и финансовое развитие, организация заработной платы и премирования, социальное развитие, управление, бухгалтерская деятельность, кадровое обеспечение, прочие виды деятельности.

Субъектом управленческих решений в зависимости от организационной структуры экономической системы (предприятия, организации) и значимости принимаемых решений может быть высшее руководство (президент, генеральный директор), маркетинг-директор, менеджер по функции управления (например, финансам, маркетингу и пр.) — так называемое лицо, принимающее решение (ЛПР).

С точки зрения теории принятия решений ЛПР представляет собой обобщенное собирательное понятие, под которым подразумеваться как индивидуальное (директор), так и групповое ЛПР. Под групповым ЛПР можно понимать, например, совет директоров предприятия, правление акционерного общества,

группу экспертов специализированной консалтинговой фирмы, привлеченных на договорной основе для решения какой-либо сложной управленческой проблемы.

Решение проблемной ситуации может быть *типовой задачей*, возникающей время от времени в данной сфере, а может быть *уникальной*, не имеющей аналогов и являющейся в этой связи наиболее трудоемкой и сложной.

Проблемы рационального выбора в уникальных ситуациях характерны для сложных экономических проблем (выбор направления инвестиций, выбор инвестиционного проекта, выбор стратегии развития предприятия и др.). Хотя их список довольно обширен, все они имеют общие черты: уникальность, неповторяемость проблемной ситуации, сложный для оценки характер рассматриваемых альтернатив, недостаточная определенность принимаемых решений, наличие совокупности разнородных факторов, которые следует принять во внимание, наличие группы лиц, ответственных за принятие решений.

Проблемы рационального выбора в уникальных ситуациях существовали всегда, но по ряду причин в последние десятилетия важность их значительно возросла.

Во-первых, увеличилась динамика экономических отношений, уменьшился жизненный цикл эффективного решения, что требует регулярного пересмотра результативности решения проблемной ситуации.

Во-вторых, развитие науки и техники привело к появлению большого числа альтернативных вариантов выбора, что усложняет их генерацию и выбор.

В-третьих, возросла сложность каждого из вариантов принимаемых решений.

В-четвертых, увеличилась сложность цепочки «результаты–последствия» и степень взаимозависимости исходных факторов, адекватных решений и их последствий. В этой связи увеличилась сложность рационального решения в уникальных проблемных ситуациях.

Выбор оптимального (наилучшего) решения индивидуальное ЛПР осуществляет по одному определенному или целой группе критериев выбора (например, максимум прибыли, минимум издержек, достижение оборота (продаж) не менее определенного уровня показателя и т. д.). Особенность группового ЛПР — использование принципа согласования индивидуальных решений (мнений экспертов).

Принятие решения представляет собой генерирование альтернативных решений и определенных действий над множеством альтернатив, в результате которого исходное множество альтернатив сужается. Это действие называется «выбор», которое придает всей управленческой деятельности целенаправленность. Именно через элемент выбора реализуется подчиненность всей деятельности определенной цели или совокупности взаимосвязанных целей. При этом каждому ЛПР приходится участвовать в процессе управления и проводить этап принятия решений, т. е. выбирать и анализировать наиболее перспективные направления развития проблемы и оценивать ее последствия с точки зрения

увеличения общей экономической эффективности предприятия, организации. Для реализации выбранной альтернативы в процессе управления необходимо еще и этап организации принятого решения.

Решения являются универсальной формой управленческого поведения как отдельной личности, так и социальных групп. Эта универсальность объясняется сознательным и целенаправленным характером человеческой деятельности. Однако, несмотря на универсальность решений, их принятие в процессе управления экономической системой существенно отличается от решений, принимаемых в частной жизни.

В этой связи можно говорить о важных элементах процесса принятия решения, как одного из этапов процесса управления.

Цели. Субъект управления (будь то индивид или группа) принимает решение исходя не из своих собственных потребностей, а в целях решения проблем конкретной организации.

Последствия. Частный выбор индивида сказывается на его собственной жизни и может повлиять на немногих близких ему людей. Менеджер, особенно высокого ранга, выбирает направление действий не только для себя, но и для организации в целом и ее работников, и его решения могут существенно повлиять на жизнь многих людей. Если организация велика и влиятельна, решения ее руководителей могут серьезно отразиться на социально-экономической ситуации целых регионов. Например, решение закрыть нерентабельное предприятие компании может существенно повысить уровень безработицы.

Разделение труда. Если в частной жизни человек, принимая решение, как правило, сам его и выполняет, то в организации существует определенное разделение труда: одни работники (менеджеры) заняты решением возникающих проблем и принятием решений, а другие (исполнители) — реализацией уже принятых решений.

Профессионализм. В частной жизни каждый человек самостоятельно принимает решения в силу своего интеллекта и опыта. В управлении организацией принятие решений — гораздо более сложный, ответственный и формализованный процесс, требующий профессиональной подготовки. Далеко не каждый сотрудник организации, а только обладающий определенными профессиональными знаниями и навыками наделяется полномочиями самостоятельно принимать определенные решения.

Рассмотрев эти отличительные особенности принятия решений в организациях, можно дать следующее определение управленческого решения.

Управленческое решение — это выбор альтернативы, осуществленный руководителем в рамках его должностных полномочий и компетенции и направленный на достижение целей организации.

Раздел 1. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Глава 1. ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

1.1. Общие проблемы принятия управленческих решений

Научные основы теории принятия решения как раздела общей теории систем и системного анализа были заложены в период Второй мировой войны. Его родоначальниками считаются Дж. фон Нейман и О. Моргенштерн, которые в 1944 г. опубликовали материалы по новому направлению — теории игр. Позднее зарубежные специалисты Р. Акофф, Ф. Эмери, Ст. Оптнер, Р. Льюс, Х. Райфа, Ст. Бир, Дж. Форрестер и др., а также отечественные — А. Г. Венделин, Д. М. Гвишиани, О. И. Ларичев, И. М. Сыроежин и другие внесли существенный вклад в развитие и обогащение этой теории.

Любая управленческая деятельность, в том числе в сфере экономики, менеджмента и маркетинга, тесно связана с принятием соответствующих решений по различным управленческим ситуациям.

Поэтому в общем случае под решением понимают набор управленческих воздействий (действий со стороны лица, принимающего решения (ЛПР)) на объект (систему, комплекс и т. д.) управления, позволяющий привести данный объект в желаемое состояние или достичь поставленной перед ним цели.

Процесс принятия решений (ПР) — это один из этапов управленческой деятельности, на котором происходит выбор наиболее предпочтительного решения из допустимого множества решений, или упорядочение множества решений по их важности.

Принятие решений возможно на основании знаний об объекте управления, о процессах объективно в нем протекающих и могущих произойти с течением времени (иначе говоря, требуется наличие адекватной модели объекта) при наличии множества показателей (критериев), характеризующих эффективность (качество, оптимальность и т. д.) принятого решения (т. е. требуется также наличие модели принятия и оценки принятого решения).

При разработке решения обычно формируется модель принятия решений в виде формального представления элементов и процессов технологии принятия решений.

Такая модель определяет возможности и направления разработки и реализации управленческих решений и структуризации элементов процесса управления. Так, например, в маркетинге для принятия решения часто применяются хорошо известные модели (матрица «Продукт-рынок», модель М. Портера, различные варианты матрицы БКГ «Бостон консалтинг групп», модель фирмы «Артур Д. Литл» и т. д.). В финансовом менеджменте такими моделями могут быть модель безубыточности, диагностики банкротства (модель Z-счета, Альтмана) и пр.

В экономической и управленческой деятельности выделяют ряд аспектов, связанных с процессом принятием решений. В пределах своей компетенции часть решений принимает менеджер, начальником отдела, заместитель руководителя и др.

Существуют ситуации, в которых требуется принимать решения неформального характера, для чего необходимы не только опыт и знания ЛПР, но и его инновационный, творческий характер. Такие решения являются гибкими и в высокой степени адаптивными и чувствительными. В своей основе они имеют стратегическую направленность, хотя зачастую являются и краткосрочными.

Принятие решений, требующих типовых действий, является прерогативой менеджера, сам процесс может быть достаточно длительным, что связано с бюрократической процедурой обсуждения и согласования, уточнением и получением дополнительной информации по элементам проблемной ситуации.

Процесс принятия решения, как указывается в работе О. С. Виханского и М. И. Наумова¹, включает много разных элементов, но в нем непременно присутствуют проблемы, цели, альтернативы и решения как выбор альтернативы. Данный процесс лежит в основе планирования деятельности организации, так как план — это набор решений по размещению ресурсов и направлению их использования для достижения организационных целей.

Процессы принятия решений, понимаемые как выбор одного из возможных вариантов, пронизывают всю человеческую жизнь. Большинство решений мы принимаем не задумываясь, так как существует автоматизм поведения, выработанный практикой. Но возможны ситуации, когда человек испытывает мучительные раздумья. Это происходит, когда он сталкивается либо с новым объ-

¹Виханский О. С., Наумов А. И. Менеджмент. 3-е изд. — М.: Гардарика, 2003. 528 с.

ектом выбора, либо с новой обстановкой, в которой совершается выбор, либо с нехваткой информации для объективного выбора.

Однако в процессе управления принятие решений — это более систематизированный процесс. Принятие решений в организации представляет собой сознательный выбор из имеющихся вариантов направления действий, сокращающих разрыв между настоящим состоянием организации и ее желательным будущим. В литературе считается, что решение можно рассматривать как продукт управленческого труда, а его принятие — как процесс, ведущий к появлению этого продукта.

Принятие решений отражается на всех аспектах управления, и этот процесс является частью ежедневной работы управляющего (менеджера). В управлении организацией принятие решений осуществляется менеджерами различных уровней и носит достаточно формализованный характер, так как решение касается не только его индивидуально, а чаще всего относится к подразделению или к организации в целом.

Принятие решений в экономической системе — это:

- сознательная и целенаправленная деятельность, осуществляемая человеком;
- поведение, основанное на фактах и ценностных ориентациях;
- процесс взаимодействия членов организации;
- выбор из альтернативных решений в рамках социального и политического состояния организационной среды;
- часть общего процесса управления;
- существенное влияние на выполнение других функций управления.

Принятие решений — это и наука и искусство управления экономическими процессами. Роль принятого решения огромна. Важнейший вопрос успешного функционирования организации заключается в том, способна ли организация выявлять свои проблемы и решать их. Каждое решение нацелено на ликвидацию какую-либо проблемы. Правильное решение — это решение, которое максимально обеспечивает достижение цели организации при минимальных затратах и времени. Тем не менее цели, которых пытаются достичь, бывают в ряде случаев недостаточно осознанными. Выбор неправильных целей означает, что решаются неправильно сформулированные проблемы, а это может привести к гораздо большей трате ресурсов, чем неэффективное решение правильно сформулированных проблем.

В этой связи очень велика роль тех, кто берет на себя ответственность за принятые решения (обычно это руководитель подразделения, предприятия организации и пр.). В общем виде это лицо, принимающее решение (ЛПР). Ведь решение не только процесс, но и один из видов мыслительной деятельности и проявления воли человека. Его характеризуют такие признаки:

- возможность выбора из альтернативных вариантов (если нет альтернативы, то нет выбора и, следовательно, нет и решения);

- наличие цели (бесцельный выбор не рассматривается как решение);
- необходимость волевого акта ЛПР, так как ЛПР формирует решение через борьбу мотивов и мнений.

Обычно предполагается, что ЛПР отвечает ряду требований и условий:

- обладает правом выбора из множества альтернативных решений;
- несет ответственность за принятые решения;
- заинтересовано в осуществлении рационального выбора;
- стремится разрешить возникшую проблемную ситуацию.

Хотя эти требования кажутся естественными, они выполняются далеко не во всех случаях. Иногда внешние требования, указания вышестоящих организаций практически предопределяют действия руководителя, навязывая ему определенный выбор. Бывает, что руководитель удовлетворен положением, когда он фактически отстранен от принятия решения и у него нет мотивации к разрешению проблемы.

В этом плане роль руководителя состоит в умении вырабатывать правильное суждение, правильно осмысливать реальные (а не взятые из заранее составленного перечня) проблемы, исследовать проблемную ситуацию и постоянно опережать события. Следует отметить, что выявление проблем является не только одним из этапов процесса принятия решения, но и постоянно действующей функцией управления в любой экономической системе.

В менеджменте понятие «проблема — проблемная ситуация» используется для обозначения разрыва между желаемым состоянием (прежде всего целями) объекта и ее фактическим состоянием. А само решение проблемы рассматривается как средство преодоления такого разрыва, выбор одного из многих объективно существующих курсов действий, позволяющих перейти от наблюдаемого состояния к желаемому. Необходимо еще учитывать и влияние ситуативных факторов на процесс принятия решений. Условия проблемной ситуации и другие факторы внешнего воздействия оказывают влияние на саму технологию принятия решения. Знание факторов, оказывающих влияние как на саму проблему, так и на потенциальные возможности ее разрешения предполагает наличие информации о содержании и структуре проблемы. Система информации, которая требуется для анализа проблемы и подготовки принятия решения, весьма обширна и представляет собой значительное количество видов информации. Классификация видов информации представлена на рис. 1.1.

Для принятия управленческих решений кроме информации и проблемной ситуации необходимы и определенные базовые знания, которыми должно обладать ЛПР. Эти знания образуются из нескольких компонентов: образование, опыт, мотивация. Категория опыта включает в себя не только наличие стажа работы в области управления своей фирмы, но и знание результатов деятельности других фирм в решении подобных проблем, понимание условий и движущих сил развития внешнего и внутреннего рынка, умение оценивать их возможные влияния на работу фирмы. При этом следует оценивать результаты

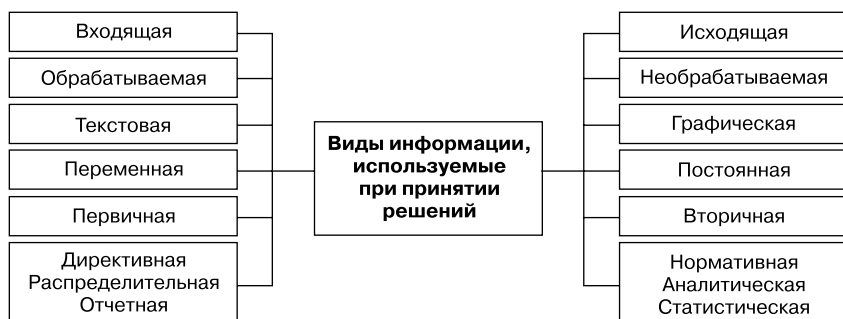


Рис. 1.1. Виды информации, используемые для принятия решений

работы организации в сравнении с фирмами-эталонами и их лучшими результатами. Все это повышает конкурентоспособность фирмы и обеспечивает необходимые ей конкурентные преимущества.

В современном бизнесе принятие эффективных управленческих решений может стать важным конкурентным преимуществом. Организация может опередить своих конкурентов за счет принятия более лучших, более быстрых решений и более эффективного внедрения принятых решений.

В современных условиях стало значительно сложнее принимать решения, что связано как с непредсказуемостью окружающей среды, инновационной активностью фирм-конкурентов, так и с ростом конкуренции, ограниченностью ресурсов, различными стратегическими неожиданностями и т. д. Такие условия приводят к тому, что методы и методология традиционной теории принятия управленческих решений не в полной мере отвечают принципам и особенностям управления в экономических системах (категория «экономическая система» может подразумевать и отдельную фирму, и индивидуального предпринимателя, и мощное производственное предприятие, и транснациональную корпорацию и банковскую систему).

Таким образом теория принятия решения (ПР) в экономической и организационно-управленческой деятельности является сложной междисциплинарной наукой, в развитие которой внесли большой вклад экономисты, математики, психологи, социологи и т. д. В результате всех этих исследований можно выделить два основных направления развития ПР:

- теория принятия рациональных решений;
- психологическая теория принятия решений.

Первое направление теории ПР отвечает на вопросы: как принимать решения рационально, какой выбор оптимален. Оно базируется на использовании математических методов и моделей. Наиболее часто применяются линейные модели, модели транспортных задач, динамическое программирование, теория игр, теория массового обслуживания, оптимальное программирование и т. д.

Выбор метода принятия решения во многом определяется характером и спецификой самого решения.

Целью принятия решения считают желаемое (с точки зрения целевого состояния экономической системы) состояние объекта, процесса или результата деятельности. Положение предприятия на рынке определяется состоянием его внутренней и внешней среды. И если факторы внутренней и часть факторов внешней среды (микросреда) поддаются управлению через принятие управленческих решений, то другая часть факторов внешней среды (макросреда) являются неуправляемыми и принятие решений в этом случае характеризуется информационной неопределенностью и ограничивается лишь адекватным реагированием на возможность проявления этих факторов в деятельности экономической системы и оценку влияния таких факторов на результаты деятельности. Объективно, с точки зрения внешней среды, любая система существует как источник удовлетворения ее потребностей. Из этого следует, что простейшая модель взаимодействия системы и среды выглядит в виде взаимосвязанных элементов: собственно система (управляемый объект); внешняя среда, в которой функционирует система; субъект управления. В общем виде, учитывая взаимодействие системы и среды, модель их связи представлена на рис. 1.2.

Описание модели. На вход экономической системы S из внешней среды P поступают управляющие параметры в виде множество ограничений $B = \{b_k\}$ и, возможно, целей $Z = \{Z_m\}$; множество ресурсов $X = \{x_j\}$. Выход системы S определяется множеством конечных продуктов, благ и услуг, ориентированных на удовлетворение потребностей внешней среды, $Y = \{Y_i\}$. При этом множество конечных продуктов и ресурсов можно разделить на следующие группы: материальные, информационные, финансовые, трудовые, энергетические и пр.

В ряде случаев в классификаторе выходных параметров системы помимо полезных, оказывающих позитивное действие на развитие среды, конечных продуктов необходимо выделять так называемые отходы, т. е. конечные продукты, оказывающие негативное влияние на внешнюю среду.

Обобщенная модель взаимодействия экономической системы с конкретными элементами внешней среды представлена на рис. 1.3.

Взаимодействие экономической системы и внешней среды построено по следующей схеме: среда поставляет системе ресурсы, необходимые для функ-

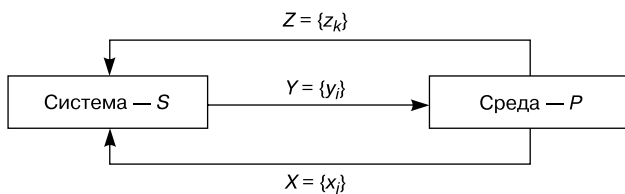


Рис. 1.2. Модель взаимодействия системы и среды

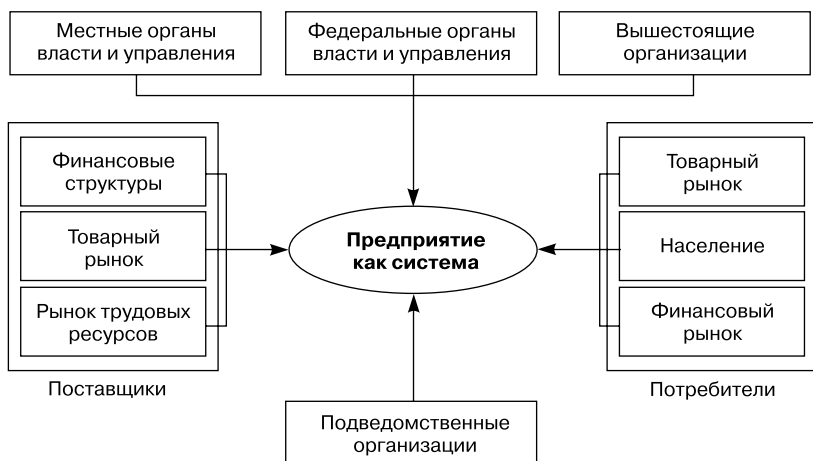


Рис. 1.3. Модель взаимодействия предприятия с элементами внешней среды

ционирования системы, устанавливает цели, ограничения, а в обмен получает из системы и потребляет ее конечные продукты.

Рассматривая модель взаимодействия системы с элементами среды, необходимо рассчитывать на свободное взаимодействие элементов модели, при котором должен быть согласованный (равновесный) обмен ресурсами модели. В общем случае отношения среди элементов среды и системой находятся в равновесном состоянии за счет эквивалентного обмена, удовлетворяющего элементы модели.

Из-за возникновения неучтенных факторов внешней среды или внутри системы возможно рассогласование параметров обмена и нарастание степени неудовлетворения параметрами взаимоотношений элементов модели. Если нарушается равновесие при снабжении элементов внешней среды конечными продуктами системы или наблюдается низкая эффективность взаимодействия элементов внешней среды с системой, то происходит рассогласование параметров модели и переход системы в новое состояние, характеризующееся неравновесным обменом. Такое неравновесное состояние в рамках системного подхода определяется как *проблемная ситуация* (ПС). То есть ПС можно определить как возникшую либо назревающую степень неудовлетворения взаимосвязью системы и внешней среды.

В этом случае перечень возможных типов проблемных ситуаций определяется исходя из параметров модели и анализа взаимосвязи элементов множества параметров процесса управления: $Y = \{Y\}$; $X = \{X\}$; $D = \{b\}$; $Z = \{Z\}$.

Таким образом, систематизация проблемных ситуаций может быть определена следующими группами:

- неравновесный обмен;
- замедление процесса обмена;
- временное или ресурсное запаздывание в процессе обмена;
- изменение параметров внешней среды;
- изменение структуры и параметров деятельности экономической системы.

Наличие проблемной ситуации предполагает формулирование сущности проблемы и описания структуры ситуации. Этот процесс можно свести к следующим процедурам:

- установление содержания проблемы, т. е. уяснение, есть ли в действительности проблема либо она является надуманной;
- определение новизны проблемной ситуации;
- установление причин возникновения проблемной ситуации;
- определение степени взаимосвязи проблемных ситуаций;
- определение полноты и достоверности информации о проблемной ситуации;
- определение возможности разрешения проблемы.

Определение существования и действительности проблемной ситуации предполагает проверку наличия в системе действительных или прогнозируемых экономических и социальных потерь, а ее значимость проверяется исходя из критериев экономического либо социального эффекта, получаемого в системе после ликвидации проблемной ситуации.

Сложность и многообразие видов экономических систем и групп проблемных ситуаций требуют тщательного подхода к анализу процедур, ведущих к образованию проблемных ситуаций. Диагностика и установление причин (как в системе, так и во внешней среде) возникновения проблемы позволяет глубже понять закономерности функционирования объекта управления, вскрыть наиболее существенные факторы, приведшие к проблемной ситуации. При этом необходимо установить возможные взаимосвязи рассматриваемой проблемы с другими проблемами, разделить их на главные и второстепенные, общие и частные, срочные и несрочные. Все это позволяет четко и глубоко выявить причинно-следственные зависимости и способствует выработке комплексного решения. Важным параметром проблемной ситуации является степень разрешимости проблемы, поскольку не имеет смысла заниматься поиском решений проблем, неразрешимых в данный момент времени при данных ресурсах и условиях.

Для выбора и принятия рациональных решений по изменению проблемной ситуации, для которой возможно решение, необходимы следующие действия:

- порождение или обнаружение множества альтернативных решений, из которых предстоит сделать выбор;
- определение целей, ради достижения которых осуществляется выбор;
- разработка и применение способа сравнения альтернативных решений между собой, т. е. определение рейтинга предпочтения для каждого ре-

шения, согласно определенным критериям, позволяющим косвенно оценивать, насколько каждое решение соответствует цели;

- проработка найденного способа на модели ПР.

Обобщенная характеристика основных этапов принятия решений представлена в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Характеристика основных этапов принятия решений

Название этапа	Характеристика этапа
Осознание и предвидение проблемы	Экспресс-диагностика внешней и внутренней среды фирмы
Формулировка проблемы	Постановка целей и задач решения проблемы; оценка альтернатив достижения цели
Подготовка решения	Сбор, анализ, обработка информации; бенчмаркинг; выявление возможных стратегий действия; оценка стратегий действия поставленными целями
Принятие решения	Выбор стратегии действия
Контроль за реализацией принятого решения	Оценка изменений во внешней и внутренней среде фирмы; анализ хода реализации стратегии; корректировка стратегии

Современные работы в области поддержки принятия решений выявили характерную ситуацию, которая состоит в том, что полная формализация нахождения наилучшего (в определенном смысле) решения возможна только для хорошо изученных, относительно простых задач, тогда как на практике чаще встречаются слабоструктурированные задачи, для которых полностью формализованных алгоритмов принятия решения не разработано. Вместе с тем опытные компетентные и способные специалисты часто делают выбор, который оказывается достаточно хорошим и рациональным. Поэтому современная тенденция практики принятия решений в естественных ситуациях состоит в сочетании способности человека решать неформализованные задачи с возможностями формальных методов и компьютерного моделирования (методов моделирования решений, систем поддержки принятия решений, экспертных систем и т. д.).

В этом случае задача принятия решений должна быть направлена на определение оптимального (наилучшего) способа действия для достижения стоящей перед экономической системой цели (целей).

Один из подходов к процессу принятия решений трактует осуществление выбора как процесс получения информации, в ходе которого уменьшается неопределенность в результате приема новой информации, а в результате выбора некоторого подмножества альтернатив из множества (т. е. в результате принятия решения) тоже происходит уменьшение неопределенности. Это значит, что каждый выбор, каждое решение снижает неопределенность и делает про-

зрачными факторы и механизмы, используемые для эффективного управления экономической системой.

Другое направление определяет исследование *психологических аспектов теории принятия решений*. Такой подход во многом обусловлен непосредственной деятельностью ЛПР (экономистов, управленцев и пр.) и направлен на получение ответов на вопросы, связанные именно с самой деятельностью ЛПР (как осуществляется процесс выбора, какие стимулы необходимо задействовать для правильного выбора, какова мотивация именно данного решения, а не иного, как организовать персонал в группу для экспертного выбора и пр.).

Таким образом, под психологической теорией ПР понимается система мотивированных утверждений о том, как действует ЛПР в ситуациях, требующих принятия решений.

Однако при системном анализе самого процесса решения видно, что обе части теории принятия решений направлены на изучение разных аспектов управленческой деятельности и характеризуют свойства и атрибуты процесса ПР.

При использовании методологии принятия решений в экономических системах возникает множество проблем, связанных как с мотивацией решения, так и с формированием механизма выбора при различных исходных данных и целях решения проблемной ситуации.

Можно сказать, что процесс принятия решения — это последовательность взаимосвязанных шагов, различных для каждого вида решаемой проблемы, требующих разнородной информации и технологического обеспечения.

Именно это и определяет важность и необходимость использования определенной управленческой технологии, позволяющей рационально использовать время и ресурсы.

Такие технологии используются в тех случаях, когда необходимо получить вполне определенный результат при существующих временных и ресурсных требованиях и ограничениях и когда проблемные ситуации повторяются.

Для проблемных ситуаций, требующих новых решений и подходов, необходимы не только сама управленческая технология, но и умение и способности ЛПР, так как в этом случае оно вырабатывает технологию, используя весь свой запас знаний об известных ему методах, приемах, процедурах, способах принятия решений. Упорядочение этого процесса в какой-то мере компенсирует недостатки, обусловленные невозможностью решить проблему только с помощью количественных методов анализа на основе использования апробированных технологий, сочетающих различные методы в процессе подготовки и принятия решения.

К основным проблемам теории принятия решений можно отнести вопросы, которые необходимы ЛПР для анализа проблемной ситуации и выработки решения по ее устранению. Итак, основные проблемы можно сформулировать в виде следующего набора необходимых факторов, требований и условий:

1. Методические основы принятия управленческих решений.
2. Условия протекания управленческих процессов.

3. Структура процесса принятия управленческих решений.
4. Методы принятия управленческих решений.
5. Информационное обеспечение принятия решений.
6. Техника и технология принятия управленческих решений.
7. Автоматизация процессов принятия управленческих решений.
8. Эффективность и качество принятия управленческих решений в управлении экономическими системами.

Первая группа проблем включает описание теоретических и методических основ по различным вопросам теории принятия решений, и в частности: сущность процедур принятия решений; объект и предмет процессов принятия управленческих решений; методы научного направления принятия решений; основные понятия и принципы принятия управленческих решений и т. д.

Вторая группа проблем вскрывает экономико-организационные и правовые условия для принятия эффективных решений, а также определяются субъекты, имеющие право принятия решений, обуславливаются их ответственность, обязанности и полномочия.

Третья группа проблем связана со структурой процесса принятия управленческих решений, т. е. уровнями протекающих процессов, делением каждого уровня на этапы, их последовательностью и содержанием операций, составляющих конкретные действия по принятию решений.

Содержание четвертой группы проблем заключается в раскрытии существующих методов, используемых для решения конкретных задач принятия управленческих решений. Необходимо определить структуру задачи, степень ее неопределенности и структурированности, полноту представления и описания параметров, а затем подобрать соответствующие методы ее решения.

Пятая группа проблем включает в себя разработку информационного обеспечения для процедур мониторинга экономической системы и непосредственного принятия решений.

Шестая группа проблем описывает автоматизированные процедуры управления и принятия решений, определяет необходимую технику и технологию при реализации автоматизированных процедур как для соответствующего уровня, так и для конкретной технологической операции. Здесь обосновывается структура и функциональный состав необходимого программно-аппаратного комплекса для поддержки процессов управления и принятия решений, а также условия подключения отдельных модулей системы поддержки.

Седьмая группа описывает технологию принятия решений при взаимодействии ЛПР с автоматизированными системами поддержки принятия управленческих решений. Здесь обсуждаются вопросы формирования оптимальных интерактивных процедур взаимодействия, интерпретации выходных данных, оптимизации входного потока данных и его фильтрации.

Восьмая группа проблем связана с анализом последствий принимаемых управленческих решений, их действенностью и исполнимостью.

Следует иметь в виду, что любой учебник по данному курсу не дает готовых ответов на конкретные вопросы по выбору и анализу проблемной ситуации в конкретной экономической системе и не содержит готовых рецептов. Основные задачи курса — научить общему подходу к решению задач принятия управленческих решений в различных ситуациях и при различных ограничениях и типах задач и исходных данных, а также сформировать умения и навыки решения управленческих задач, связанных с принятием управленческих решений.

Условия принятия управленческих решений. В производственных и социально-экономических системах право принимать решения имеют лишь специально уполномоченные на то лица. Это, как правило, руководители (линейные: от директора до мастера) структурных подразделений организационного управления.

Функциональные службы системы организационного управления обычно только принимают участие в подготовке решений: подбирают необходимую информацию; делают предварительный анализ и сжатие (обработку) данных; формируют выборки; готовят макеты вариантов решений. Руководители функционального подразделения не вправе принимать самостоятельные решения по подразделению в целом, а наделяется полномочиями по каким-либо частям проблемной области подразделения. Они имеют право принимать решения только на уровне изменившегося состояния при функционировании руководимого функционального звена. Как правило, они готовят проекты, информацию, обеспечивают проверку полноты и качества представляемых данных, осуществляют прямую и обратную связь с верхними уровнями структуры управления.

В отношении уровня управления, на котором должны приниматься управленческие решения, обычно пользуются следующим правилом: решения принимает та ступень, которая более близко находится к месту реализации, так как наилучшим образом здесь могут быть учтены все условия и обстоятельства возникшей проблемной ситуации. Так, например, анализ причин, вызывающих появление проблемных ситуаций и требующих принятия некоторого решения, приведен в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Причины принятия решений

Причина	Доля, %
Указания вышестоящих организаций	23
Устранение неполадок и сбоев в управляемом объекте	26
Истечение сроков действия предыдущего решения	16
Необходимость корректировки ранее принятого решения	15
Переход управляемого объекта в новое состояние	13
Другие причины	7

Обычно на практике задания, спускаемые сверху, требуют только уточнения содержания и задают объекты, время, ресурсы без уточнения проблемы. Однако если они недостаточно обоснованы, то и их решение не будет эффективным.

Говоря о проблеме полномочий, необходимо задать их в виде некоторых границ, в пределах которых тот или иной руководитель или ЛПР имеет право принимать решения и распоряжаться теми или иными ресурсами.

Рассматривая процедуры принятия решений, нельзя не остановиться на тех обязанностях и ответственности, которые должны быть присущи ЛПР. При этом необходимо руководствоваться принципом: имеешь право принимать решения в полномочной проблемной области — обязан принять решение в соответствующей ситуации. При коллегиальных решениях ответственность, как правило, несет руководитель.

Одним из важных элементов процесса принятия решения является категория эффективности решения, которое определяется эффектом от принятого решения (степенью достижения цели), отнесенным к затратам на достижение цели. Так, например, критерий эффективности решения может быть, в частности, определен через следующие экономические показатели:

$$K = \{P_1, P_2, И\}, \text{ или } K = (P_2 - P_1) / И,$$

где K — критерий эффективности принятого решения; P_1 — прибыль до принятия решения; P_2 — прибыль, полученная в результате принятия решения; $И$ — издержки, связанные с реализацией принятого решения.

Критерий эффективности решения задается ЛПР в зависимости от конкретной проблемной ситуации, целевых установок и функций предпочтений альтернатив.

Функция предпочтения ЛПР представляет собой комплексную оценку положительных (либо отрицательных) аспектов варианта решения и его последствий, характеризующую эффективность и качество решения и учитывающую все существенные факторы проблемной ситуации. Функция предпочтения зависит от внутренней направленности ЛПР, опыта, знаний и компетентности ЛПР и отражает обобщенную характеристику решения при его оценке. Данная функция может быть представлена при определенных условиях и ограничениях в виде функций полезности решения, имеющих различную закономерность.

Так, например, на рис. 1.4 приведены графики возможных функций предпочтения ЛПР, которые отражают возможные типовые функции предпочтения для простейшего случая восприятия выигрыша или проигрыша при выборе решения в некоторой ситуации.

По горизонтальной оси приведен параметр U ($U > 0$ — выигрыш, $U < 0$ — проигрыш), по вертикальной оси — значения функции предпочтения $f(U)$, характеризующей субъективное понимание ЛПР ценности значений параметра U (например, $f(U) > 0$ характеризует полезность, $f(U) < 0$ — бесполезность игры).

График *а)* соответствует так называемому объективному ЛПР, которое считает, что полезность пропорциональна параметру U , т. е. $f(U) = U$.

График *б)* соответствует ЛПР-оптимисту, которое с увеличением значения выигрыша присваивает ему значительно большую ценность, т. е. преувеличи-

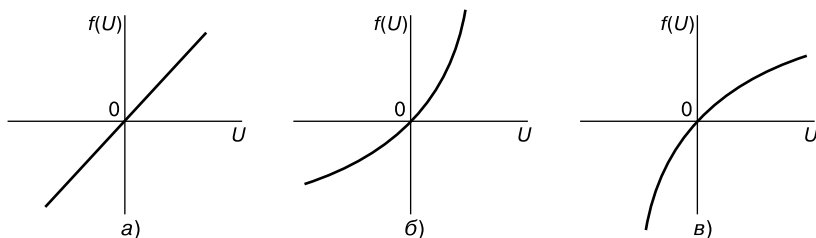


Рис. 1.4. Примеры типов функций предпочтения ЛПР

вает полезность игры, а при отрицательных значениях U (проигрыш) — уменьшает ее полезность, безразлично реагируя на потери.

На графике в) изображена функция предпочтения, характерная для «осторожного» ЛПР-пессимиста, который уделяет особое внимание предупреждению больших потерь и недооценивает полезность игры для получения выигрыша.

Данные процедуры позволяют выделить различные стратегии деятельности ЛПР при выборе решения и зависимость рациональности выбора от реальных действий ЛПР. При этом две последние стратегии выбора задают крайние значения шкалы измерения функции полезности вариантов решения.

При формировании процедуры принятия управленческих решений в конкретной экономической системе важно добиться оптимального разделения полномочий и передачи их части подчиненным. Такая процедура называется делегированием полномочий.

Анализ полноты процедур управления и их адекватность реально протекающим процессам в экономических системах возможен лишь при наличии правильно сформированных и эффективных моделей, отражающих технологические операции управления и принятия решений.

В литературе принято считать наиболее важными факторами, влияющими на качество управленческих решений, сложность проблемной ситуации, информацию о проблеме, знания и опыт ЛПР, ресурсы реализации решения, организацию и технологию принятия решения, структуру системы управления.

Так, например, последний фактор определяет число уровней иерархии в организационной структуре, увеличение которых ведет к искажению информации при подготовке решения, искажению распоряжений, идущих от субъекта управления, запаздыванию информации, что обуславливает стремление к упрощению структуры и сокращению уровней управления организации.

Не меньшее значение в теории принятия решения имеет и проблема рациональности принимаемых решений, связывающая проблематику получения эффективного решения исключительно с формальными признаками управления. Но с увеличением сложности задач и большими ограничениями, с которыми сталкивается ЛПР при решении задачи, все большее внимание обращают на неформальные факторы эффективности решения, к которым можно отнести опыт, знания, умения и интуицию конкретного ЛПР.

Серьезной проблемой, связанной с эффективностью принятия решений, называют проблему исполнения принятых решений. Считается, что до трети всех управленческих решений не достигают своих целей как по причине невысокой исполнительской культуры, так и из-за непроработанности плана реализации и контроля решения.

Таким образом, процесс принятия решений начинается с осознания возникновения проблемной ситуации и заканчивается действиями по устранению проблемы. Под проблемой понимают несоответствие состояния управляемого объекта целям, поставленным субъектом управления. Перевод объекта в желаемое состояние (управление) осуществляется воздействием на исходное состояние системы таким образом, чтобы новое состояние соответствовало целевым установкам (целям). А базовой целью любого управленческого воздействия (решения) является достижение идеального (наиболее желаемого) конечного состояния экономической системы¹. Совокупность целей деятельности можно представить в виде схемы целевых ориентиров (рис. 1.5).

Обоснованность целей и задач управленческого решения базируется на результатах экономического анализа деятельности предприятия, выявляющего влияние объективных и субъективных факторов на экономические процессы.

Ресурсные ограничения (финансовые, материальные, трудовые) при принятии решений выступают условием, от которого зависит принятие/непринятие в качестве цели желаемых результатов. Поэтому сформулированная цель управления всегда зависит от желаемого и действительного.

Основными требованиями задач управления являются:

- ориентация на достижение целесообразных уровней результатов деятельности и развития предприятия;
- обеспечение достижения целей системы более высокого уровня иерархии;
- использование анализа результатов деятельности и состояния управляемого объекта, выявленных резервов;
- учет наличия ресурсов;
- четкое определение решаемых задач и ожидаемых результатов.

Эти требования и являются основой для формирования процедур принятия решений.

Эффективная работа предприятия складывается из следующих составляющих (отбрасывая выполнение плановых заданий):

1. Соблюдение технической, эстетической и экономической характеристик продукции, которые должны соответствовать мировым достижениям.
2. Снижение случаев брака и отказов изделия в течение гарантийного срока.
3. Соответствие обоснованным требованиям потребителей и конкурентоспособность на мировом рынке.

¹Евланов Л. Г. Теория и практика принятия решений. — М.: МИФИ, 1981. 124 с.;
Замах В. П. Выработка управленческих решений на предприятии. — М.: АНХ, 1987. 68 с.

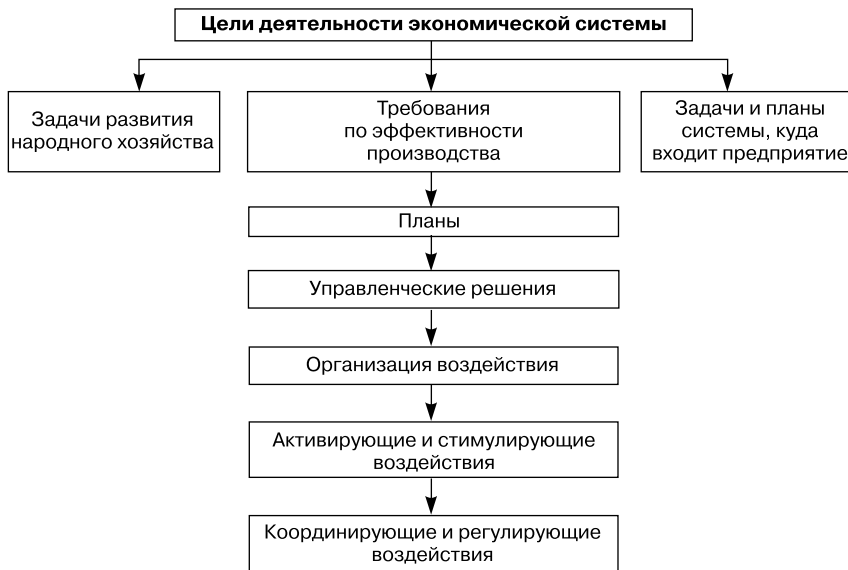


Рис. 1.5. Структура целей деятельности экономической системы

Интегрируя эти условия, можно сформулировать цель производства как выполнение обязательств по поставкам в срок в установленных номенклатуре и количестве при минимизации затрат на проектирование, производство и подготовку технической оснастки.

Рассмотрим некоторые аспекты моделирования процедур управления.

1.2. Моделирование управленческих процессов

Основная трудность моделирования процессов принятия решений как одной из функций процедуры управления на социально-экономическом уровне состоит в том, что описание самой модели управления объектом и, в частности, процедур принятия эффективных решений весьма затруднено при наличии недетерминированных или случайных процессов, которые возникают в основном из-за влияния внешних факторов или присутствия активных элементов (АЭ) в самой структуре управления. Наличие АЭ предполагает формирование в системе управления экономическим объектом собственных целей деятельности, часто несовпадающих с общесистемными. Это объясняет то, что АЭ могут самостоятельно строить свое поведение, формировать индивидуальные предпочтения, идущие вразрез с объективными, в зависимости от имеющихся сиюминутных мотивов выбора решений, собственных критериев эффективности, последствий принятых решений, а также ряда других системных и внесистемных факторов.

Выбор решения (оно может быть оценено только после его реализации, и только на этом основании может быть сделан вывод о степени его эффективности) — достаточно сложный процесс, тем более что экономические системы относятся к классу больших систем. Для обобщения и формирования опыта наработки эффективных решений необходим соответствующий уровень практического управления, что приводит к понятию экономического эксперимента, дающего фактические данные при моделировании исследуемых процессов.

Существует особая точка зрения на возможность проведения экономического эксперимента в реальных экономических системах. Возникающие ситуации не обладают свойством воспроизводимости, и поэтому экспериментальные данные следует подвергать критическому анализу. Необходимо достаточно осторожно подходить к интерпретации результатов экспериментов, особенно в имитационных моделях, дающих случайные величины при изменении комплекса параметров исследуемых объектов.

Подход к учету различного рода стационарных и случайных факторов при решении задач принятия решений позволяет разделить весь перечень задач на следующие¹:

Задачи в условиях определенности — это часто повторяющиеся задачи, условия которых можно аппроксимировать. К ним относятся задачи комбинаторного типа с большим объемом информации и множеством альтернатив. Их аппроксимация сводится к принятию существующих ограничений: удельные затраты ресурсов и удельные расходы, которые хотя и изменяются в конкретных ситуациях, но принимаются в виде усредненных величин, вычисляемых на основании прошлых периодов или расчетов. При этом ошибки в исходных данных считаются либо случайными (тогда коэффициенты рассчитываются в виде математического ожидания), либо постоянными, и тогда ими можно пренебречь.

В этом случае задача решается построением экономико-математических моделей, в частности оптимизационными методами. Роль ЛПР и экспертов (если они привлекаются при отсутствии необходимой для принятия решений информации) заключается в содержательной постановке и определении основных допущений для детерминированного характера задачи. Кроме этого, ЛПР участвует в анализе результатов расчета, их интерпретации и выборе решения.

Решения в условиях определенности — это самый простой случай, когда известны количество возможных вариантов и их сравнительные характеристики (исходы). Следует провести выбор одного из возможных вариантов. Степень сложности процедуры выбора в данном случае определяется лишь количеством альтернативных вариантов и сложностью формирования функции предпочтения (полезности) альтернатив.

В самом простом случае возможны следующие ситуации.

Пусть имеется два возможных варианта, $n = 2$, т. е. $Y = (Y_1, Y_2)$.

¹ Алдокин И. П., Бубенко И. В. Теория принятия решений. — Киев: Наук. думка, 1990. 156 с.; Матвеев Л. А. Системы поддержки принятия решений. — СПб.: Изд-во СПбУЭФ, 1993. 96 с.

В данном случае необходимо рекомендовать к выбору один из двух возможных вариантов, Y_1 или Y_2 . Последовательность действий по выбору одного из двух вариантов может быть следующей:

- определить критерий, по которому проводится выбор;
- любым методом вычислить значения выделенного критерия для сравниваемых вариантов. При этом возможны различные методы вычисления значения критерия. Для этого обычно используются методы оценки с учетом дисконтированных или учетных показателей;
- вариант с лучшим значением критерия рекомендуется как рациональное решение.

Если же число альтернативных вариантов больше двух, $n > 2$, т. е. $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$, процедура анализа существенно затрудняется из-за применения сложных процедур выявления функций полезности и предпочтений. Наиболее удобная методика в этом случае — методология математического программирования (в данном случае этот термин означает планирование).

Задачи в условиях вероятностной определенности. В этом случае ЛПР ставит задачу, а эксперты определяют или подтверждают соответствующее распределение вероятностей функций полезности по альтернативным вариантам, дают их численные характеристики, структурируют решаемую задачу.

Задачи в условиях неопределенности. К подобным задачам относится большинство практических задач, которые являются слабоструктурированными или неструктурированными. Здесь возможны следующие виды неопределенности:

- наличие частотной неопределенности, т. е. отсутствие статистических данных;
- неопределенность из-за существующей многокритериальности задач (множество целей при решении задачи);
- существование активных элементов в структуре организационного управления, действия которых невозможно контролировать.

При описании задач обычно используют различные подходы, методы и модели анализа структуры проблемной ситуации и возможностей ее решения.

Моделирование задач принятия решений. Рассмотрим конкретные математические методы, которые могут быть применимы при анализе и выборе вариантов решений и получении оптимальных значений параметров экономических объектов для вполне структурированных задач.

Экономико-математические модели. При решении задач принятия управленческих решений используются формальные математические модели, с помощью которых формируются альтернативные варианты и производится выбор наилучшего.

Для задач с определенными параметрами в экономических системах наибольшее применение нашли задачи математического программирования.

Решение задач такого типа характеризуется как выбор некоторой совокупности исходных факторов (переменных) $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, обеспечивающих экс-

трем некоторой функции Z (цель решения задачи, критерий эффективности решения) при ограничениях, определяемых условиями решения задачи.

*Формулировка задачи.*¹

Необходимо выбрать вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, обращающий в экстремум (max, min) целевую функцию.

$$Z = f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{extr.}$$

при условиях:

$$\left. \begin{array}{l} q_1(x_2, \dots, x_t) = 0, \\ q_k(x_n, x_{n+1}, \dots, x_t) \geq 0 \\ x_j \geq 0 \end{array} \right\} \text{ограничения на переменные.}$$

В зависимости от свойств функций f, q модели решения задач выбора оптимального решения разделяются на:

- линейные (модели линейного программирования при линейных функциях f, q);
- нелинейные (при нелинейном характере функции Z и некоторых ограничениях на условия решения задачи q_j). При этом модели нелинейного программирования делятся, в свою очередь, на выпуклые и невыпуклые, целочисленные и дробные и пр.

Для получения оптимальных управленческих решений могут использоваться также модели балансовых методов анализа, которые представляются в виде прямоугольной таблицы (табл. 1.3), в ячейках которой указаны количественные данные произведенных (потребленных) изделий. При помощи таких матриц проводится анализ баланса между производством и потреблением изделий, ресурса и пр.

Модели данного типа применяются в основном на уровне межотраслевого планирования.

Классификация совокупности экономико-математических моделей, применяемых при выработке решений, представлена на рис. 1.6².

Модели линейного программирования применимы при решении задач оперативно-календарного и технико-экономического планирования (определение оптимальной производственной программы), технической подготовки производства, исследования положения на предприятии при изменении цен, кредитов и т. д.

Модели динамического программирования позволяют решать задачи выбора политики замены оборудования, оптимального распределения затрат, амортизационных отчислений и т. д.

¹Алдокин И. П., Бубенко И. В. Теория принятия решений.

²Афоничкин А. И., Матвеев А. А. Макаркин Н. П., Сажин Ю. В. Системы поддержки в теории и практике оценки управленческих решений. — Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 1995. 224 с.

Таблица 1.3. Матрица баланса

Поставщики	Потребители			
	U_1	U_2	...	U_n
Y_1	t_{11}	t_{12}	...	t_{1n}
Y_2	t_{21}	t_{22}	...	t_{2n}
...	...	...	...	...
Y_m	t_{m1}	t_{m2}	...	t_{mn}

Графовые модели используются в экономических системах в основном при решении задач сетевого планирования.

Балансовые модели применяются для анализа положения и пропорционального развития подразделений, формирования планов и экономической стратегии предприятия, фирмы.

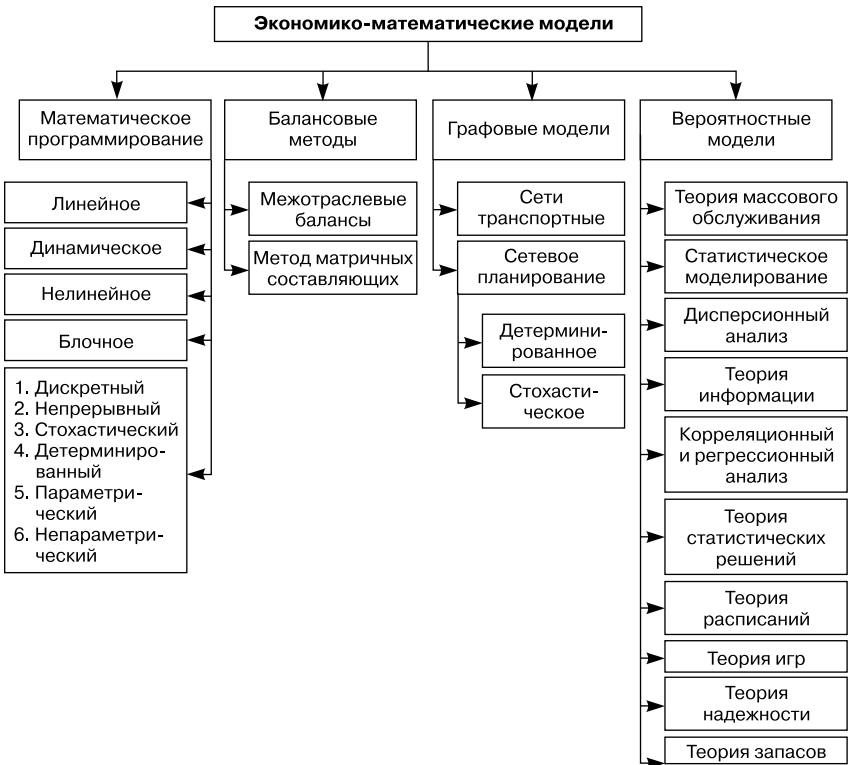


Рис. 1.6. Классификация экономико-математических моделей, используемых при моделировании управленческих процессов

Модели корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализа используются преимущественно при установлении различного рода норм и нормативов, построения моделей развития экономической системы и т. д.

Модели теории массового обслуживания применяются для определения технологических процессов, их очередности, продолжительности операций.

Теория запасов — для решения задач по оптимизации установленных размеров оборотного фонда, оперативно-календарного планирования, оптимизации величины заделов.

Теория игр и статистических решений — для решения задач оптимального стимулирования, моделирования работы фирмы, анализа и тенденций развития рынков сбыта и др.

Таким образом, в общем случае процесс принятия решений основывается на некоторых управляющих воздействиях, которые вырабатываются при отклонении фактических параметров ситуации от планируемых. Подбираются такие значения параметров воздействия, при которых возможно устранение имеющейся проблемной ситуации.

Рассмотрим более подробно основные цели управляющих воздействий на управляемый объект и ситуации, возникающие в социально-экономических объектах при организации этих воздействий.

Со структуризацией целей и критериев, а также их классификацией более подробно можно ознакомиться в работах Л. Г. Евланова, А. А. Денисова, В. Н. Волковой, В. П. Замах¹.

Как уже ранее определяли, процесс принятия решения — один из важнейших этапов процедуры управления. Поэтому кроме общих моделей проектирования процессов управления следует рассмотреть конкретные методы формализации и моделирования процесса принятия решения.

Мы говорили, что основная трудность моделирования процессов принятия решений на социально-экономическом уровне состоит в том, что описание самой модели управления объектом, и в частности процедур принятия эффективных решений, весьма затруднено из-за наличия недетерминированных или случайных процессов в управлении.

Рассмотрим, какие методы и модели могут быть использованы при анализе и исследовании содержания и структуры процессов принятия решений. В литературе, посвященной моделированию управленческой деятельности, принято делить модели на динамические и аналитические. Модели с динамической интерпретацией меняют свою конфигурацию с учетом некоторых начальных условий, характеризующих исходную ситуацию. Достоинство этого класса моделей заключается в том, что они позволяют моделировать и описывать экономические и управленческие процессы, параметры которых изменяются во времени.

¹Евланов Л. Г. Теория и практика принятия решений; Денисов А. А., Волкова В. Н. Иерархические системы. — Л.: Изд-во ЛПИ, 1989. 118 с.; Замах В. П. Выработка управленческих решений на предприятии.

Модели аналитического типа базируются на основании аналитических или эвристических методов и позволяют проводить оценку проблемной ситуации в пространстве многих критериев и интерпретировать полученные оценки на множестве факторов, задающих необходимые воздействия для эффективного изменения ситуации.

К достоинству этого класса моделей можно отнести их относительную гибкость, которая позволяет изменять состав множества критериев оценки, учитывая изменяющуюся систему приоритетов принятия решений.

Принятие решений возможно только в том случае, если ЛПР обладает всей необходимой информацией для выработки рационального решения. Эта информация может быть получена путем:

- наблюдений за элементами и структурой проблемной ситуации;
- оценки состояния окружающей среды;
- моделирования протекающих в проблемной ситуации процессов.

В общем виде информация, полученная для выработки управленческих решений и моделирования процесса принятия решений, должна включать в себя следующие параметры:

- структуру предпочтений ЛПР;
- содержательное и количественное описание важнейших критериев;
- реальную информацию о проблемной ситуации и постановке проблемы.

Модель задачи принятия решений может быть сформулирована следующим образом.

Исходному состоянию S_0 экономической системы, которое интерпретируется как проблемная ситуация, необходимо поставить в соответствие такое управленческое воздействие (решение) U , которое переводит проблемную ситуацию S_0 в целевое состояние $S_{c'}$, принадлежащее множеству возможных (допустимых) решений $\{S_{c1}, S_{c2}, ..., S_{cm}\}$. При этом данное решение (воздействие) может быть признано рациональным на основании возможных последствий данного воздействия и текущего результата, оцениваемых по множеству критериев принятия решения и установленной системы предпочтений P .

Проблемная ситуация как некоторое состояние экономической системы возникает при отклонении параметров, характеризующих состояние системы, от нормативных (запланированных для обеспечения необходимых темпов развития и стабильного роста).

Для формализации процесса управления можно описать состояние S_0 вектором его финансово-экономических параметров $X = (x_1, x_2, ..., x_n)$. На множестве параметров зададим некоторую оценочную функцию $\Psi(X)$, которая бы позволила измерить и оценить вектор параметров:

$$\Psi(X) = (\phi(x_1), \phi(x_2), ..., \phi(x_n)). \quad (1.1)$$

На основании полученных оценок параметров состояния $(x_1, x_2, ..., x_n)$ можно выявить уровень их отклонения от заданных нормативных значений (Δ) ,

где Δ — величина рассогласования между значениями текущего и нормативного параметров x_j и x_j^0 , где

$$\Delta = \phi(x_j) - \phi(x_j^0). \quad (1.2)$$

И если значение Δ превышает некоторое критическое значение $\delta_{кр}$, $\Delta > \delta_{кр}$, то система может сойти с траектории управления, ведущей к цели C . То есть выполняется правило: при любых состояниях существуют параметры X описания состояния системы S , при отклонении которых от нормативных значений данного состояния в некоторый момент времени ведет к повышению критического порога этих параметров, что диагностируется как проблемная ситуация S_0 . Это описание формализованно определяется следующим правилом

$$\exists X \forall S (S_j | \Delta_j \geq \delta_{кр} | \Delta_j = \phi(x_j) - \phi(x_j^0)) \rightarrow S_0, \quad (1.3)$$

где S_0 — проблемная ситуация.

Решение проблемной ситуации S_0 определяется как воздействие на существующее состояние множеством влияющих факторов, что ведет к изменению исходного состояния S_0 и переходе из данного состояния к некоторому состоянию S_c (целевому состоянию), соответствующему цели деятельности системы C ,

$$Rh : S_0 \rightarrow S_c |_{T, J, R}, \quad (1.4)$$

при ограничениях на:

- время перехода (изменения исходного состояния) T ;
- объем информации, требуемый для осуществления такого перехода J ;
- ресурсы управления R для реализации управляющего воздействия на исходную ситуацию через влияющие факторы.

Эти ограничения влияют на качество принимаемого решения Rh для перехода состояния S_0 в состояние S_c , которое, в свою очередь, зависит от следующих параметров процессов управления и принятия решений:

- качества информации, используемой в процессе принятия решения;
- степени оптимальности принимаемых решений Rh (учет закономерностей используемых факторов управления и особенностей функционирования экономической системы и внешней среды);
- своевременности решений;
- соответствия принимаемых решений действующему механизму и методам управления в ЭС;
- квалификации персонала управления;
- готовности к исполнению принятого решения;
- и др.

Таким образом, рациональное решение Rh зависит от следующих параметров:

1. Качества и количества различного вида ресурсов управления, выделяемых (имеющихся) для достижения целевого состояния S_c , т. е. $R = \{R_c, R_w\}$,

где R_c — постоянные ресурсы управления, т. е. неизменяемые в процессе разрешения проблемы (оборудование, кадры, сбытовые сети, сервис и др.); R_w — переменные ресурсы, т. е. ресурсы, изменяемые в зависимости от объема проблемы, например финансы, инвестиции, материалы, комплектующие, сырье.

2. Вида стратегии (способа) использования ресурсов R .
3. Неуправляемых факторов (инфляции, политической нестабильности, текучести кадров, сбоев оборудования, замены инструментов и др.), определенных и неопределенных факторов (изменения и корректировки производственных планов, изменения норм и нормативов и др.).
4. Результатов (исходов — последствий развития принятого решения), к которым могут привести выбранная стратегия и действие неуправляемых факторов.
5. Системы предпочтений, показывающих, в какой степени при различных исходах может быть достигнуто целевое состояние S_c .

Модель процедуры принятия решения Rh может быть записана в виде:

$$Rh = (R, P, X, Y, \Psi, Q), \quad (1.5)$$

где R — множество исходов; P — принятая система предпочтений; Y — множество решений проблемной ситуации и их последствий; X — множество возможных значений неуправляемых факторов; Ψ — функция, связывающая решения Y и факторы X с некоторыми исходами q из Q , ($q \in Q$).

В ходе принятия решений P обычно заменяют некоторой совокупностью критериев и на множестве решений Y ищут Y^* — оптимальное решение, включающее множество факторов воздействия на исходную ситуацию, позволяющих перевести исходное состояние в целевое, т. е. целевую ситуацию S_c .

Такая модель отражает алгоритм процесса принятия решений в пространстве обобщенных параметров проблемной ситуации. Так, например, в качестве критериев выбора в зависимости от конкретной задачи, требующей решения могут использоваться доля рынка, емкость рынка, уровень конкуренции, имидж фирмы, привлекательность рынка и т. д.

Модель принятия решений при одном критерии называется однокритериальной задачей принятия решений и в обобщенном виде представляется следующим образом.

Для разрешения проблемы S_0 используется функция полезности f для возможных альтернатив Y . На основании системы предпочтений P строится решающее правило Rh , позволяющее на основании оценки характеристик X состояния проблемы S_0 , сформулированных вариантов решения Y выявить множество допустимых для данной задачи управляющих воздействий для перехода к целевому состоянию S_c . Набор приведенных параметров и позволяет выделить модель задачи.

$$M = \langle S, X, f, B, P, Rh \rangle, \quad (1.6)$$

где Y — множество решений, допустимых в рамках указанного типа задачи; f — отображение множества допустимых решений S в множество векторных оценок, отражающих ценность решения; P — система предпочтений, отражающая стратегию выбора (принятия) решений и ограничения на ресурсы управления B ; Rh — решающее правило, позволяющее сгенерировать управляющие воздействия перехода к целевому состоянию S_c ; X — множество характеристик или множество упорядоченных оценок для параметров ситуации, позволяющее оценить эффективность перехода к целевому состоянию S_c .

Если задача решается при многих критериях выбора (такая задача называется многокритериальной задачей принятия решений), то обобщенная модель решения представляется так:

$$M = \langle S, K, X, f(Y), B, P, Rh \rangle, \quad (1.7)$$

где Y — множество решений, допустимых в рамках указанного типа задачи; f — отображение множества допустимых решений Y в множество векторных оценок $f(Y)$, отражающих ценность решения и ограничения на ресурсы управления B ; P — система предпочтений, отражающая стратегию выбора (принятия) решений; Rh — решающее правило, позволяющее сгенерировать управляющие воздействия, удовлетворяющих множеству критериев, для перехода к целевому состоянию S_c ; X — множество характеристик или множество упорядоченных оценок для параметров ситуации, позволяющее оценить эффективность перехода к целевому состоянию S_c ; K — множество критериев принятия решений.

Модель принятия решения M можно разбить на подмодели, каждая из которых решает свои задачи:

- получение оценки состояния объекта в пространстве критериев принятия решений f ;
- формирование множества допустимых решений Y на основании оценки их состояния и установленной системы предпочтений P (т. е. формирование и ранжирование множества допустимых решений);
- выбор оптимального решения Y^* из множества допустимых с учетом наличия ограничений B на ресурсы.

Обобщенная модель принятия решений, с использованием ее декомпозиции на подмодели, может быть представлена в следующем виде:

$$M = \begin{cases} f = \phi_1(S_o, X, K); \\ Y = \phi_2(f, P, Y); \\ Y_{\text{опт}} = Rh(B, Y), \end{cases} \quad (1.8)$$

где ϕ_1 — функционал, позволяющий получить оценку состояния в пространстве параметров описания ситуации и критериев; ϕ_2 — функционал, позволяющий оценить альтернативы решения через функцию полезности и сформулированные приоритеты; Y — множество допустимых решений; B — область ограничений на ресурсы управления; Rh — решающее правило выбора (решение).

Обобщенная модель принятия решений (1.8) может быть реализована с помощью моделей различного типа.

1.3. Модель представления информации в управлении экономическими системами

Важной частью процесса принятия решений является подготовка информации на стадии анализа проблемной ситуации и выявления структуры проблемы. Такая информация дает возможность оценить взаимозависимости элементов ПС, позволяет установить зависимости между явлениями, событиями и факторными признаками ПС.

Фактические данные, которые используются для анализа проблемы, являются первоначально данными или сведениями. В связи с этим необходимо эту информацию организовать в систему, уменьшающую степень неопределенности при разработке и принятии управленческих решений. Для этого их нужно трансформировать по определенным правилам и привести к тем показателям, которые используются для решения задач (1.5–1.8).

В работах А. И. Афоничкина и С. А. Панфилова¹ дается обобщенный подход к моделированию самой информации и выделяется несколько стадий движения информации от проблемной ситуации до ее разрешения. Рассмотрим несколько подробнее категорию информации как ресурс принятия решения.

С точки зрения управления информацией должно быть ровно столько, сколько необходимо для формирования эффективного решения при возникновении проблем в управлении. Однако наблюдается диспропорция в сфере управления экономическими объектами: информации, которую генерирует каждый хозяйствующий субъект, достаточное количество, а если принять во внимание ее репродукцию во множестве источников информации, то можно утверждать о ее избытке. С другой стороны, при решении уникальных управленческих задач поиск необходимой информации, требуемой для адекватной оценки проблемы, может затянуться по времени (в связи с отсутствием требуемых данных в нужном месте и в нужное время). Это приводит к осознанию того, что информация превращается в категорию ресурса, имеющего свои стоимостные и иные характеристики, со своими особенностями и требованиями и условиями использования для целей управления.

Рассматривая информацию как категорию ресурса, следует исследовать ее теоретико-экономические аспекты.

Дать однозначное определение понятия «информация» представляется достаточно сложным в связи с наличием большого количества публикаций по

¹ Афоничкин А. И., Панфилов С. А. Качество информационного обеспечения в процессах управления / Под ред. А. А. Денисова. — Саранск: Изд-во Саратовского ун-та, Саранский фил., 1988. 180 с.; Панфилов С. А., Афоничкин А. И. Методы и средства автоматизированной оценки показателей в системе менеджмента качества. — Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2002. 144 с.

различным аспектам теоретической и прикладной информации, однако попытаемся обобщить основные подходы к информации.

Можно выделить ряд общих признаков, позволяющих дать определение понятию «информация», охарактеризовав его наиболее важные стороны, проявляющиеся при любом практическом использовании в целях эффективного управления экономическими системами.

В самом общем понимании информация представляет собой меру неоднородности распределения материи и энергии в пространстве и во времени и ту меру изменений, которыми сопровождаются все протекающие в мире процессы. Информация в экономике проявляется во множестве приложений:

- во-первых, производство информации как таковой — это производственная отрасль, т. е. вид экономической деятельности;
- во-вторых, информация является фактором производства, один из фундаментальных ресурсов любой экономической системы;
- в-третьих, информация является объектом купли-продажи, т. е. выступает в качестве товара;
- в-четвертых, некоторая часть информации является общественным благом, потребляемым всеми членами общества;
- в-пятых, информация — это элемент рыночного механизма, который наряду с ценой и полезностью влияет на определение оптимального и равновесного состояний экономической системы;
- в-шестых, информация в современных условиях становится одним из наиболее важных факторов в конкурентной борьбе;
- в-седьмых, информация становится резервом деловых и правительственных кругов, используемым при принятии решений и формировании общественного мнения.

Отмечая значимость информации как экономического ресурса, проявление ее некоторых особенностей дает возможность говорить о неубывающем характере этого ресурса и многоаспектности ее проявления. Поскольку информация является товаром, с одной стороны, и ресурсом управления — с другой, то потребление информации растягивается в пространстве и времени, т. е. одну и ту же информацию могут одновременно использовать в совершенно различных местах, и даже не нашедшая применения в данный момент времени информация не может считаться бесполезной, так как она может потенциально использоваться для решения других задач. Так, например, информация мониторинга, не нашедшая применения в управлении в текущий момент, в соответствующее время может стать необходимой и достаточной для решения будущих задач менеджмента.

В то же время информация, не используемая в текущей практической деятельности, превращается в знание, являющееся всеобщим достоянием. Это говорит о наличии у информации как производственного, так и воспроизводственного процесса, поскольку, сгенерированная один раз, она может перетекать в знание, а затем опять в конкретную информацию, рождая новые знания.

Тем самым информационный ресурс используется в экономических отношениях точно так же, как труд или капитал, и можно выявить прямую зависимость между экономическими результатами и мерой количества и качества информации, введенной в экономический оборот.

Вместе с тем информационный ресурс имеет ряд особенностей, отличающих его от традиционных ресурсов:

- информация воздействует на эффективность производства без физического увеличения традиционных ресурсов;
- информация действует на субъективный фактор производства — человека, его характер и способности;
- информация ускоряет процесс воспроизводства за счет уменьшения периодов производства и обращения.

В этой связи можно говорить о возможности информационного ресурса наряду с другими факторами развития производства увеличивать эффективность экономического объекта без какого-либо заметного увеличения других ресурсов.

Еще одним необычным явлением информационного рынка является то, что не всегда возможно однозначно определить оптимальный размер необходимой информации и ее предельную цену исходя из привычных соотношений предельных издержек на получение информации и предельной выгоды от ее использования.

Рассматривая возможные ситуации значений предельных издержек на получение информации, полезность информации, объемы необходимой информации, можно построить различные структуры модели информационного рынка при различных условиях потребления и формирования информации. Это реально в тех частных случаях, когда кривые предельной полезности от использования информации и предельных издержек на ее получение пересекаются.

Наиболее простой считается ситуация, когда информация является товаром, для которого выполняется принцип убывающей предельной полезности. В этом случае можно использовать все стандартные рыночные методы и средства определения оптимальных цен и издержек.

При другом типе модели каждая новая единица информационной совокупности приносит такую же полезность, что и предыдущая, но общая полезность возрастает из-за расширения объема знаний об увеличивающемся сегменте рынка.

Третья модель отражает ситуацию, при которой каждая новая единица информации увеличивает полезность ее использования. Но поскольку начальные издержки меньше получаемого эффекта, постольку имеет смысл увеличивать затраты на получение информации только до некоторого предела.

Однако кроме рассмотренных ситуаций возможны случаи, при которых предельные издержки на получение информации и полезности от ее использования отражают ситуации, когда любые вложения в новую информацию не приносят полезности, достаточной для покрытия понесенных затрат, хотя абсолютные значения полезности возрастают.

Из приведенных моделей видно, что на рынке информации возможны ситуации, когда оптимум соотношений цен и размеров информации оказывается недостижимым даже в самом благоприятном случае. Это характеризует состояние информационной неопределенности, которая возникает вследствие растянутости потребления информации во времени и пространстве.

Несмотря на значение информации как фактора роста производства, не всякая (или не во всем объеме) используемая информация привлекается для целей управления. Это является следствием того, что в настоящее время наблюдается «информационный кризис», при котором мера (количество) информации, поступающей в промышленность, управление и научный мир, увеличивается экспоненциально. Использование в процессах управления информации как фактора эффективного управления показывает, что за последние два десятилетия растущее значение приобретают информационные ресурсы.

Опыт развития индустриальных стран показывает, что в современном обществе управляемость экономикой и ее эффективность зависят не только и не столько от системы стимулов и частных интересов, но и от информационной обеспеченности принимаемых решений как на уровне производства (конъюнктура рынка), так и на уровне управления.

Отсутствие нужной информации, недостоверность имеющейся информации, несвоевременное получение необходимых данных на любом уровне управления становятся причиной затруднений в принятии органом управления правильных и обоснованных решений. В условиях перехода к рыночной экономике проблема обеспечения информационных связей между субъектами экономической и социальной деятельности стала весьма актуальной.

Так, например, в деловой сфере из-за задержек в оформлении деловых операций, из-за отсутствия актуальной информации о конъюнктуре рынка, о динамике цен на товары и услуги, из-за больших сроков проведения банковских расчетов и биржевых операций участники, как правило, несут существенные финансовые и экономические потери. Экономический ущерб в масштабах России составляет, по оценкам экспертов, 150 млрд руб. ежегодно.

В настоящее время на фоне возрастания экономической и политической самостоятельности предприятий появились реальные предпосылки повышения эффективности работы предприятия при эффективной реализации процедур информационного обеспечения управления.

Современные требования к организации и представлению информации для целей управления включают и новые требования к технике и технологии процессов обработки информации в самой организационной структуре. При этом изменяются формы представления информации и структура самой информации, а также набор показателей, характеризующих ситуацию, периодичность их представления и т. д. В условиях становления рыночной экономики, нарастающего многообразия проблем, требующих оперативного решения, обоснованность и эффективность решений, принимаемых органами управления, во многом зависят от качества и оперативности информационно-аналитического

обслуживания процедур управления предприятием. Информация как ресурс развития и управления используется недостаточно. Органы управления предприятием, с одной стороны, ощущают дефицит необходимой и своевременно поставляемой информации, а с другой — объемы получаемой информации таковы, что не хватает времени ее обработать.

Однако все виды деятельности предприятия должны быть представлены и описаны однажды, точно, достоверно и своевременно актуализированы.

Поэтому одной из главных проблем в формировании на экономическом объекте эффективной системы информационного обеспечения управления и принятия решений является создание необходимых предпосылок для успешного выполнения задач организационного и функционального менеджмента, базирующиеся:

- на активном формировании процедур информационного обеспечения с учетом особенностей и характеристик информации как ресурса управления;
- на создании и развитии современных информационных технологий и соответствующего инструментария для получения, обработки и анализа и оценки информации, требуемой для решения конкретных задач управления;
- на создании собственных информационных ресурсов и технологий поддержки принятия решений.

Управление как объективно данный информационный процесс имеет свою структуру и обязательную последовательность связей, которые обеспечивают его существование в этом качестве.

Можно сформулировать следующие принципы получения информации.

Первый из них соответствует известному закону У. Эшби о необходимом разнообразии и формулируется так: чем большими потенциальными возможностями по пропускной способности обладает система, тем больший объем информации способна она воспринимать. А чем больший объем качественной информации получает система, тем точнее будет ее реакция на изменения во внешней среде.

Состав необходимой информации на входе системы определяется ее выполняемыми функциями и задачами. Излишняя информация создает информационный шум и затрудняет анализ и оценку проблемы и соответственно функционирование системы. В этом состоит второй принцип получения необходимой для управления информации — чем меньше информации требуется для перехода от одного экономического состояния к другому, тем более эффективной является система управления.

Идеальными для системы управления считают такие размеры и состав информации, которые отвечают условиям оптимального сочетания указанных принципов на основе критерия оптимальности процессов управления.

Однако необходимо помнить, что информация является ресурсом управления и имеет ценовой эквивалент. Поэтому при исследовании и анализе про-

блемы следует учитывать фактор «стоимость–эффективность» получения информации для решения необходимых задач. Если затраты на получение информации перекрывают эффект от улучшения поведения системы, то эта информация не является необходимой.

Вместе с тем существует мнение, что полная информированность (нулевая энтропия) ограничивает творческую фантазию ЛПР, подстегиваемую стремлением познать неизвестное. При этом не следует забывать, что, с одной стороны, ЛПР в данном случае решает задачи производственной необходимости, а не свои личные, познавательные, а с другой — обычно полная информация характеризует класс управленческих задач, относящихся к строго формализованным задачам оперативного регулирования.

Время, затрачиваемое на поиск необходимой информации, занимает у ЛПР в среднем до 30% рабочего времени. Эффективность управления зависит также и от качества информационного обеспечения и определяется спецификой процесса принятия решения, этапы которого представлены на рис. 1.7.

С точки зрения информационного обеспечения важнейшим этапом является подготовка информации для принятия решений. При этом на предприятии обычно помимо официальной информации используется и неформальная. Первая представляет собой организованный и заранее определенный информационный поток, ориентированный на действующие вертикальную и горизонтальную структуры управления. В отличие от нее неформальная система не связана структурными ограничениями, а также последовательностью отдельных операций. Благодаря ей этап выбора решения иногда делится на два параллельных взаимосвязанных подэтапа.

По А. А. Модину, процесс управления в самом общем виде сводится к определенному предоставлению закономерностей развития производства и выбору таких воздействий на производственный процесс, которые обеспечивали бы достижение наилучших результатов. Другими словами, управление прежде

Этапы	Подходы	Информационные технологии
Подготовка информации	Инструментальные средства и системы	Организация и технология обработки информации
Проектирование	Теория управления	Система поддержки, операционный анализ решений и моделирование
Выбор решений	Практика управления	Использование баз данных и знаний
Выполнение решений	Практика управления	Создание систем
Обратная связь	Теория регулирования	Техника регулирования

Рис. 1.7. Этапы процесса принятия решений и их информационная поддержка

всего является моделированием следующих процессов: во-первых, выбора наилучших или желаемых вариантов развития производства и, во-вторых, поддержания должного уровня деятельности, т. е. управляющих воздействий.

Таким образом, реализация процесса управления нуждается:

- в какой-либо модели протекания производственных процессов, характеризующей его закономерности;
- в информации, отражающей состояние и закономерности поведения всех элементов производственного процесса;
- в знании рычагов воздействия на производственный процесс в те или иные моменты.

Происходящие сейчас изменения условий вызывают необходимость усовершенствовать систему управления, переключив основное внимание с оперативного на стратегическое управление, ориентированное на будущее.

Эту проблему можно решить путем изменения организационной структуры, в частности сокращения количества уровней управления. При этом уменьшается не только число звеньев системы, но и объем утраченной и неправильно истолкованной информации, численность участвующих в работе и допускающих ошибки исполнителей, количество связей между данными. В результате повышается эффективность управления в целом. Рост объема информации не обязательно должен вести к увеличению количества уровней управления.

Если подходить к информации как к ресурсу, то в процедурном отношении обычно выделяют три фазы — поиск, обработку и распределение информации, которые должны быть ориентированы на конкретные потребности. Эти частные процессы в зависимости от объема, содержания и качества данного ресурса реализуются на оперативном, тактическом и стратегическом уровнях.

Исследования проблемы необходимо начинать с уяснения, какую информацию следует искать, в какой форме ее обрабатывать, кому она нужна на предприятии и, вообще, имеется ли реальная возможность эффективного информационного обеспечения. Анализ информационной потребности и поиски возможных решений по ее удовлетворению составляют одну из задач информационной технологии управления. При этом оценка потенциала внутренних и внешних информационных источников должна рассматриваться как стратегическая задача, обеспечение рабочего инструментария информационного процесса — как тактическая, а его организация по всем внутрипроизводственным подразделениям — как оперативная. Класс рабочего инструментария определяет технологию обработки данных в подобной системе.

Однако прежде, чем определять методологию формирования оптимального информационного обеспечения, следует выяснить возможные подходы к представлению информации и оценке качества и эффективности информации в процессах управления.

Информация в процессах управления представляет собой совокупность сведений, являющихся объектом хранения, передачи и преобразования для эффективного решения задач управления.

При рассмотрении структуры и содержания понятия информации, обычно выделяют в ней следующую внутреннюю структуру:

- смысловое содержание описания проблемы;
- материальное представление описания проблемы;
- способность человека воспринимать информацию и адекватно ее интерпретировать.

Каждый из элементов структуры информации определяет аспект исследования информации как ресурса управления. При формализации структуры считают, что логическая структура информации характеризуется аспектами

$$Y = \{S, G, P\},$$

где S — семантический аспект (характеризует смысловое содержание описания проблемы); G — синтаксический аспект (задает материальное представление и синтаксис описания проблемы); P — прагматический аспект (характеризует способность человека воспринимать информацию и адекватно ее интерпретировать).

Информация, как и любой ресурс управления, имеет свой количественный эквивалент, характеризующийся своей центральной единицей измерения — количеством информации. Однако для оценки содержательной информации существуют специализированные метрики, применяемые для анализа смысла информации. В предыдущем разделе приведены этапы формирования информационного обеспечения управления. Рассмотрим их несколько подробнее.

Как отдельный вид экономическая информация, т. е. информация, используемая для принятия решения в экономических системах, обладает рядом свойств и характеристик, отличающих ее от других классов и видов. Рассмотрим кратко отличительные особенности экономической информации для ее использования в качестве одного из важных ресурсов менеджмента.

Свойства экономической информации:

1. Экономическая информация отражает деятельность экономического объекта через систему натуральных, стоимостных, качественных и других показателей, т. е. информация отражает числовые характеристики деятельности объекта и условия, при которых они получены.
2. Дискретность. Свойства дискретности отражают свойство информации отображать количественные показатели в виде дискретных величин.
3. Линейность экономической информации. Свойства линейности характеризуют построчное размещение экономической информации на материальном носителе.
4. Массовость характеризует необходимость отображения явлений, происходящих в экономическом объекте, по всем аспектам и во всех проявлениях.
5. Объемность предполагает периодическое отражение и накопление одного показателя за различные периоды.

6. Многоцелевое назначение предполагает использование одной и той же информации для решения нескольких связанных задач.
7. Длительность хранения характеризует свойство информации сохранять свою актуальность и другие характеристики ее качества через некоторый промежуток времени, когда потребуются использование данной информации для формирования различных отчетных документов для целей управления.
8. Периодичность в установленных временных рамках предполагает появление одних и тех же показателей через определенный период.

Важность экономической информации состоит еще и в том, что на базе системы экономических показателей формируются экономико-математические модели для анализа развития и прогнозирования деятельности экономического объекта.

При исследовании характеристик информации достаточно важно провести анализ общих характеристик, сопоставляемых с группой информации. Для этого существует несколько различных подходов к системе классификации информации. Обычно принято разделять информацию по следующим признакам:

- по функциям, выполняемым информацией в процессе управления;
- по отношению информации к системе управления;
- по степени стабильности информации.

Рассмотрим содержание приведенных классификационных групп.

1. По выполняемым функциям в процессе управления информацию обычно принято разделять на фактическую, плановую, нормативную, справочную:
 - фактическая информация характеризует уже совершившиеся явления и процессы;
 - плановая информация характеризует процессы и явления, которые должны произойти на экономическом объекте в предстоящих периодах;
 - расценочная, или нормативная, регламентирует процессы и явления, происходящие на экономическом объекте;
 - справочно-табличная информация дополняет и детализирует основную информацию.
2. По отношению к системе управления принято выделять:
 - внутреннюю информацию, возникающую в процессе деятельности экономического объекта;
 - внешнюю информацию, которая возникает за пределами экономического объекта;
 - входящую информацию;
 - исходящую информацию;
 - активную информацию, используемую для активного воздействия на экономический объект;

- пассивную информацию, которая используется для мониторинга процессов, происходящих на экономическом объекте;
 - оперативную информацию, которая характеризует состояние экономического объекта в некоторый момент времени;
 - текущую информацию, характеризующую состояние экономического объекта за определенный период времени (сутки).
3. По стабильности информацию принято различать на условно-постоянную и переменную информацию:
- условно-постоянная содержит реквизиты, относящиеся к группе постоянных, т. е. не изменяющихся в течение некоторого промежутка времени;
 - переменная содержит переменные реквизиты (изменяющиеся в течение некоторого времени).

Указанные группы различаются коэффициентом стабильности K_{st} , который характеризует степень изменения содержания информации во времени. Данный коэффициент рассчитывается как отношение числа реквизитов, не изменившихся в течение определенного промежутка времени K_n , к общему числу реквизитов на начало периода K_0 :

$$K_{st} = R_n / R_0.$$

Коэффициент стабильности изменяется от 0 до 1, и чем ближе значение коэффициента к 1, тем стабильнее информация. Граничным значением здесь служит величина коэффициента стабильности $K_{st} = 0,5$. Если $K \geq 0,5$, информация относится к группе условно-постоянной, иначе — к переменной.

Рассмотрим основные свойства и характеристики информации для ее использования в процессах управления экономическими объектами.

Несмотря на существующие национальные и региональные различия в информационном обеспечении менеджмента и в экономической и финансовой отчетности, можно сформулировать общие требования, предъявляемые к информации для управления. Совокупность этих требований предполагает описание характеристик качества информации как исходного материального ресурса для исследования процесса управления с различных сторон, которые отражают различные этапы процесса коммуникации.

Рассмотрим процесс коммуникации информации в экономическом объекте с точки зрения финансового управления более подробно.

При исследовании природы информации обычно используются два основных подхода¹:

- *атрибутивном*, который трактует информацию как свойство движущейся материи, состоящее в структурности, упорядоченности, разнообразии ее состояний. Признание всеобщности той стороны реальных объектов

¹ Афоничкин А. И., Панфилов С. А. Качество информационного обеспечения в процессах управления.

и процессов, которая отражается в понятии «информация» как проявлении атрибутивных свойств объективной реальности, — суть этой концепции, ее отличительная черта;

- *функционально-кибернетическом*, рассматривающем информацию как свойство определенного класса материальных систем, которое возникает и обогащается в процессе становления, развития этих систем, их функционального взаимодействия и взаимодействия с внешним миром. Такими системами являются, во-первых, живые организмы и их сообщества, во-вторых, человек и человеческое общество и, в-третьих, интеллектуальные системы.

В первоначальном представлении об информации, которое связывают с именем К. Шеннона, информация рассматривалась как некая совокупность сведений, сообщений. Причем теория, созданная К. Шенноном, привела «смутное» представление информации к точному понятию «количества информации». Это понятие, однако, вскрывает лишь вероятностно-статистический аспект синтаксической информации и, хотя является необходимым, все-таки остается недостаточным для полного анализа информации. С семиотической точки зрения данный подход позволяет описать лишь структуру сообщений как конфигурацию знаков, букв.

Такой подход правомерен в технике связи, но при переработке содержательного аспекта информации, когда на первый план выдвигается качественная сторона информации, этот подход неприемлем.

В работах А. И. Афоничкина и других¹ дается подробный анализ исследуемых проблем, поэтому приведем небольшое описание, ссылаясь на результаты этих работ.

С возникновением кибернетики из-за расширения сферы деятельности понятия информации делаются попытки «переопределить» его с позиции осознания связи информационных процессов с явлением отражения. Так, Л. Бриллюэн определяет информацию в виде отношения числа возможных ответов в некоторой задаче о действительном положении дел до и после получения информации. Причем элементы человеческой оценки здесь игнорируются. С понятием отражения связывает информацию Н. И. Жуков. По его мнению, информация делится на актуальную, связанную, мертвую, потенциальную и определяется как отражение в живой природе, обществе, технике, момента дви-

¹Афоничкин А. И., Принятие управленческих решений в экономических системах: Учеб. пособие. — Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 1998. 184 с.; Афоничкин А. И., Матвеев А. А., Макашкин Н. П., Сажин Ю. В. Системы поддержки в теории и практике оценки управленческих решений. — Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 1995. 224 с.; Афоничкин А. И., Панфилов С. А. Качество информационного обеспечения в процессах управления; Белкин А. Р., Левин М. Ш. Принятие решений: комбинаторные модели аппроксимации информации. — М.: Наука, 1990. 160 с.; Волкова В. Н., Денисов А. А. Основы теории систем и системного анализа. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2001. 342 с.; Волкова В. Н., Козлов М. Н. и др. Системный анализ и принятие решений. — М.: ВШ, 2004. 61 с.

жения, упорядоченного изменения, используемого для управления. Несомненно, что два последних определения характеризуют информацию как всеобщее свойство материи.

Ко второй группе можно отнести определение Н. И. Ключева, рассматривающего информацию как определенное свойство материи, воспринимаемое управляющей системой как из окружающего мира, так и из процессов, происходящих в самой системе. Между тем неполнота понятия информации в шенноновской теории для ряда психологических, кибернетических, социологических и других задач была осознана очень рано. Это и привело к разработке теории семантической информации, базирующейся на семантико-прагматических концепциях понятия информации. Семантическая концепция информации возникла как попытка измерения смысла сообщений в форме суждений, являющихся носителями знания и понимаемых человеком. Так, Д. М. Маскау считает, что общая теория информации имеет дело только лишь с проблемой измерения знаний.

Предметом информации является изучение образования представлений, различных способов, посредством которых представления могут быть продуцированы, и количественного анализа методов получения представлений. Под представлением здесь понимается некоторая структура, свойства которой служат символом или соответствуют в определенном смысле свойствам некоторой другой структуры. Однако тот факт, что информацией все же пользуются интеллектуальные системы, породил прагматическую концепцию понятия информации.

У Н. Т. Петровича мы находим определение информации как обозначения содержания, полученного из внешнего мира в процессе приспособления к нему наших органов чувств. Процесс переноса информации в пространстве и времени происходит тогда и только тогда, когда она воспринимается потребителем. Здесь концепция информации определяется через содержание некоторого события внешнего мира, раскрывающегося потребителю лишь в силу необходимости. Сюда же можно отнести и определение, данное И. И. Гришкиным: «информация есть некоторое знание, рассматриваемое с точки зрения его отношения к внешнему миру (семантический аспект), к получателю и накопленному им знанию, познавательным целям и задачам (прагматический аспект)». Однако стандартный информационный процесс требует кроме элементов передающего и принимающего наличия элемента среды, служащего материальным носителем информации.

Таким образом, для того чтобы понятие «информация» адекватно отвечало запросам информационной науки, в частности задачам эффективной обработки информации с точки зрения определения финансовых аспектов, необходимо, чтобы процесс обработки информации включал все элементы информационных процедур, отражающие его свойства и сущность.

Формализация и анализ информации как объекта исследования, с одной стороны, и информационных ресурсов управления, приносящих некоторую

полезность потребителю, — с другой, состоит в использовании сложившихся в прикладной теории информации содержательных представлений для построения обоснованных и эффективных методов и систем ее обработки. Причем обычно обработке подвергаются некоторые представления, адекватные смыслообразованию, пониманию смысла, исчислению смысла, т. е. тому, что составляет предмет семантической теории информации, в отличие от шенноновской.

К настоящему моменту разработано множество моделей и теорий семантической информации, основанных на различных представлениях о ее природе. Центральным вопросом теории всегда является вопрос о количественном выражении информации. И хотя количественная, так называемая численная, сторона вопроса является лишь математизацией категории количества, тем не менее возможности количественных оценок характеристик явлений могут существенно способствовать их изучению и использованию. Однако трудности состоят в том, что данная характеристика количества информационных процессов в силу ее специфики не поддается прямому измерению, как, например, характеристики физических явлений. Очень трудно сконструировать меру информации, адекватную объективным представлениям об информации. Прямые измерения здесь невозможны, и это дает повод оспаривать использование в информационной (семантической) науке понятия меры информации, которая приписывает каждой единице информации некоторое число, являющееся ее центральной характеристикой.

Впрочем, измерение не есть единственный источник количественных оценок. Их можно находить и косвенным, чисто теоретическим путем исходя из построенных моделей объекта информации. При этом понятие информации наполнится смыслом только лишь тогда, когда ее количественная характеристика (в рамках конкретной теории) соответствует тому свойству вещей, которое лежит в основе измерения информации.

Кратко рассмотрим сущность некоторых моделей информации, которые рассматривают в процессах управленческих коммуникации, в том числе в экономических системах.

Известно множество методов и подходов к определению меры информации, базирующихся на различных моделях информации. И если шенноновская модель информации достаточно разработана, то модели семантической информации пока еще малоэффективны. Они, как правило, применимы к довольно простым ситуациям или отдельным классам и в иных случаях основываются на довольно сильных допущениях (в малой степени соответствующих реальным информационным процессам) и слабой аргументации.

Прежде чем перейти к рассмотрению и анализу моделей информации, сформулируем типичную постановку задачи оценки и анализа информации, существующую в процессах принятия управленческих решений, в том числе и менеджменте организации.

Пусть имеется некоторое информационное множество J . Элементами множества J являются единичные информации i (отдельные сообщения). И пусть

некоторой интеллектуальной системе необходимо провести анализ поступившей совокупности сообщений и выбрать наиболее оптимальные из них. При этом анализ информации предполагает выбор оптимальной по качеству информации. Тогда задача оценки и анализа некоторой ситуации на основе представленной информационной совокупности разбивается на две подзадачи.

Задача 1. На множество J задать функцию оценки информации Q такую, что Q однозначно поставлена в соответствие любая единица информации i из множества J .

Задача 2. Решая задачу 1, мы определили вид функции Q . По найденной структуре функции Q найти значение функции Q для каждой i из некоторого множества J и выбрать из множества Q оптимальное Q .

Так как задача 2 весьма несложна, основного внимания к себе требует задача 1. Для ее решения обычно формируется модель информации, основанная на некоторых допущениях. Затем исходя из особенностей принятой модели конструируется мера информации, которая и используется в качестве критерия оценки и анализа представленной информации.

Рассмотрим некоторые из известных в литературе моделей информации. Процесс обработки и анализа информации можно разделить на 3 уровня:

1. Фиксирование, классификация и расположение информации для ее хранения, последующего извлечения и распределения между потребителями.
2. Передача и преобразование информации, связанные с формальным увеличением или уменьшением ее объема и представлением в другой форме (без преобразования смысла).
3. Неформальная обработка информации, связанная с анализом смысла и приносимой пользы от ее применения.

Первые два уровня характеризуют в целом научное направление, называемое теорией связи и кодирования. Третий уровень пользуется сегодня особенным вниманием, вызванным созданием достаточно сложных информационных систем и других семиотических систем, и характеризуется становлением так называемой семантической теории информации.

В зависимости от уровня решаемых задач строятся различные теории, в которых сформулированные в них меры информации можно представить в виде двух групп:

1. Количественные меры, рассматриваемые без анализа собственной структуры информации и являющиеся достижением чисто количественных методов, связанные с выяснением объема (количества) циркулирующей информации и решением вопросов пропускной способности канала, помехозащищенности, скорости передачи и др.
2. Меры качества информации, учитывающие смысловое содержание информации и ее отношение к потребителю. Соглашаясь с положением В. П. Леонова, мы принимаем качество информации как совокупность признаков, которые выражают внутреннюю структурную определенность информации.

Почти все известные работы по теории информации посвящены первому направлению. И хотя в них вопросы объективных и точных определений качества информации и ее оценки были на втором плане, все же они представляют некоторый интерес в связи с использованием аппарата шенноновской теории для развития исследований семантических аспектов информации.

При разработке универсальной модели знаковых структур Пирсон использует модель полной информации. Подход к исследованию информационных мер, разрабатываемый в его работах, основывается на той замечательной роли, которую играют знаки в информационных процессах. С этой точки зрения, информационная мера рассматривается как любое наблюдаемое свойство знаковой структуры.

Отожествляя знак с элементом информации, Пирсон исследует его с лингвистических позиций в семантическом, синтаксическом и прагматическом аспектах. На наш взгляд, ценность этой работы состоит в создании инструмента для объяснения природы информационной меры, основанной на модели полной информации.

В работе А. И. Афоничкина, С. А. Панфилова¹ на основе обобщения и анализа теорий информации предлагается модель, базирующаяся на полной структуре информации, для которой каждая единица информации отражает весь набор семиотических структур S, G, P — семантической, синтаксической и прагматической соответственно. Все они участвуют в формировании информационного образа U некоторой ситуации, динамика которой может быть отражена следующей моделью:

$$((S \Rightarrow G) \Rightarrow P) \Rightarrow U. \quad (1.9)$$

Тогда центральную меру такой модели можно представить функционалом вида

$$Q_j = (Q_s, Q_G, Q_P), \quad (1.10)$$

где Q_s — мера семантического поля информации; Q_G — синтаксического; Q_P — прагматического.

Каждая такая локальная мера, в свою очередь, определена на пространстве соответствующих характеристик информации и представляет собой свертку квазисепарабельного типа. Интегральная мера (1.10) задает критерий качества информации и определена для четкой и размытой информации.

Рассмотрим данную модель несколько подробнее.

1.4. Модель информации в процессе принятия решения

Концепция полной модели информации базируется на использовании структур, отражающих следующие аспекты информации: семантический — S , син-

¹ Афоничкин А. И., Панфилов С. А. Качество информационного обеспечения в процессах управления.

таксический — G , прагматический — P . Сформулируем основные положения данной модели в виде системы аксиом.

Исходные элементы модели. Пусть J — информационное пространство, содержащее совокупность любых элементов информации $i, i \in J$. Структуры S, G, P характеризуют соответственно семантический, синтаксический и прагматический аспекты информации J .

Введем следующие определения. Синтаксический аспект информации G отражает отношение сигналов, знаков, сообщений и т. д. друг к другу, т. е. определяется характеристиками материального носителя информации. Семантический аспект информации S отражает соотношение между знаком, обозначающим некоторый объект (денотат), и выражаемым этим знаком смыслом (концепт). Прагматический аспект информации P отражает отношение потребителя к получаемой информации.

В работе введены требования, которые необходимо учитывать при построении адекватной модели семантической информации. Одним из них является то, что семантическая информация должна опираться на развитое представление о смысловом содержании текста как материальном носителе информации. Другое требует рассмотрения семантического аспекта вкупе с прагматическим в том смысле, что актуализация потенциального смыслового содержания информации происходит лишь в процессе ее восприятия. Но в силу того, что смысловое содержание потребитель воспринимает на материальном носителе информации, необходимо вводить в рассмотрение наряду с семантическим, прагматическим и синтаксический аспект информации.

На основании вышеизложенного можно сформулировать следующий вывод. Структура модели полной информации включает в себя семантический (S), прагматический (P) и синтаксический (G) аспекты информации. Они самостоятельны и находятся в неразрывной связи друг с другом. Данные аспекты можно выделить лишь в абстракции. Если обозначить J как полную информацию, то на основании вышеизложенного имеем

$$J: (S, G, P) \rightarrow U. \quad (1.11)$$

Формально можно представить S, G, P в виде соответствующих подпространств в J . Элемент s задает семантическую характеристику аспекта S , описывающую элемент i информационного пространства J .

Соответственно g обозначает синтаксическую характеристику, p — прагматическую. Пусть элемент i_s — совокупность законченных, семантически значимых описаний некоторой управленческой ситуации $x \in X, i_s \in S$.

Тогда каждому элементу $i_s \in S$ можно поставить в соответствие элемент i_g из синтаксического пространства G . Для актуализации соответствующей пары (i_s, i_g) соотнесем ей элемент p из P — прагматического пространства. Тогда тройка $\{i_s, i_g, i_p\}$ определяет элемент i информационного пространства J .

Сформулируем основные положения модели полной информации в виде системы аксиом, описываемых на языке модального исчисления предикатов.

Синтаксис системы описания включает как классические кванторы и операторы ($\forall$ — всеобщности, $\exists$ — существования, $\wedge$ — и, $\vee$ — или, $\neg$ — отрицание, $\rightarrow$ — импликация, $\leftrightarrow$ — равнозначность), так и неоклассические, отражающие динамику модели ($\perp$ — оператор взаимодействия, π — модальный оператор «возможности», $\bigcirc$ — модальный оператор «необходимости», $\vdash$ — оператор выделения, $\Diamond \vdash$ — квантор «только» и др.).

Аксиома 1. Определим единичную информацию как элемент информационного пространства:

$$i \approx \forall i_s \forall i_g \exists i_p (((i_s \in S \perp i_g \in G) \rightarrow i_\gamma \in J) \cap i_p \in P), \quad (1.12)$$

где i_s — элемент семантического представления (СемП); i_g — элемент синтаксического представления (СинтП); i_p — элемент прагматического представления (ПрагмП); i_γ — элемент описания семантического представления (СемО).

Аксиома 2. Существование описаний:

$$\mathfrak{S} \approx \forall i_s \forall i_g \exists i_p ((i_s \cap i_g = \emptyset) \rightarrow ((i_s \perp i_g) \otimes \rightarrow i_\gamma)). \quad (1.13)$$

Аксиома определяет для любых единичных СемП и СинтП существование СемО, имеющего значение в определенном аналитическом контексте.

Аксиома 3. Восприятие информации (прагматическая актуализация информации потребителем):

$$\forall i_\gamma \exists i_p \exists u ((i_\gamma \cap i_p) = \emptyset \rightarrow ((i_\gamma \perp i_p) \Diamond \rightarrow u \in U : u \Diamond \vdash c \in C)), \quad (1.14)$$

где $u \in U$ — некоторый информационный образ исследуемой ситуации из множества информационных образов U ; $c \in C$ — подмножество множества целей экономического объекта, достижимых с использованием данной информации. Для любого СемО (текст или др.) взаимодействие с элементом ПрагмП может образовать информационный образ, с помощью которого можно достичь некоторой цели (или совокупности целей) C .

Аксиома 4. Информационная метрика.

Утверждение. Существуют такие пути «сжатия» (семантической обработки) информации до информационного образа U , что оценка информационного образа не хуже оценки априорной информации i_γ :

$$\forall i \exists u \exists q ((con : i_\gamma \rightarrow u) \rightarrow (q(u) \leq q(i_\gamma)) : q : i \rightarrow R^+), \quad (1.15)$$

где R^+ — множество действительных чисел; $q(i)$ — мера информации.

Тогда

$$\forall i_\gamma \exists i_p \forall u \exists q ((i_\gamma \perp i_p) \Diamond \rightarrow u : ((i_p^k \neq i_p^m) \Diamond \vdash (u^k \neq u^m)) \Diamond \vdash (q_u^k \neq q_u^m)), \quad (1.16)$$

где $q_u = q(U)$ — оценка информационного образа анализируемой ситуации менеджмента организации. Данная аксиома гласит, что для любого описания информационные образы, соответствующие разным целям $K, M \subseteq C, K \neq M$, имеют разную оценку.

Аксиома 5. Информационная многозначность.

$$\forall i_s \forall q \forall i ((q_s^1 \neq q_s^2 \neq \dots \neq q_s^n) \diamond \mapsto ((i_s^1 \cap i \neq \emptyset) \wedge \dots \wedge (i_s^n \cap i \neq \emptyset))). \quad (1.17)$$

Любые семантические элементы информации, имеющие разные оценки, могут быть выражены одной и той же информацией i .

Аксиома 6. Информационная синонимия:

$$\forall i \forall q \forall i_s ((q^1 \neq q^2 \neq \dots \neq q^n) \diamond \mapsto ((i_s \cap i_1 \neq \emptyset) \wedge \dots \wedge (i_s \cap i_n \neq \emptyset))). \quad (1.18)$$

Множества информации, имеющие одинаковые оценки q , могут выражать один и тот же смысл i .

Аксиома 7. Информационный поток.

Пусть некоторая управленческая ситуация X разбита на множество элементов $x \in X$, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ и каждый элемент $x_j, j = 1, n$ генерирует одну семантическую единицу s_j .

Тогда

$$\begin{aligned} \forall i_s \forall i_x (((X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \xrightarrow{\Gamma} S : x_j \xrightarrow{\Gamma} i_{sj}) \otimes \rightarrow \bigcup_{j=1}^n i_s) \otimes \rightarrow (q(i_x))) \approx \\ \approx \bigcup_{j=1}^n q(i_{xj}) = Q(i_x). \end{aligned} \quad (1.19)$$

Данная аксиома показывает, что информационный поток i состоит из совокупности информационных образов:

$$(X \mapsto \bigcup_{j=1}^n i_{xj}) \rightarrow (i_x \rightarrow \bigcup_{j=1}^n u_j(x_j)).$$

Метрика потока необходимой информации состоит из совокупности мер единиц информации, составляющих поток i . При этом в качестве системы метрик можно использовать комплекс характеристик информации, отражающих все аспекты информации: полезность, ценность, своевременность, достоверность, количество, старение и др. Указанный комплекс характеристик может в дальнейшем использоваться для оценки информационного обеспечения управления подсистемами экономического объекта и качества предоставляемой информации.

Хотя вышеприведенная система аксиом не имеет строгой формализации, все же она выражает основные естественные требования к информации в процессах управления и объективные условия ее существования.

Для оценки и интерпретации системы характеристик и определения условий и требований на предоставляемому отчетность рассмотрим структуру полной модели информации в процессах управления предприятием.

На основании приведенной системы аксиом (1.12–1.19) рассмотрим динамику модели более подробно.

Пусть некоторая управленческая ситуация $x \in X$ генерирует s -информацию, т. е. смыслы $s \in S$, $S \subset J$. Под воздействием s -информации образуется канал

взаимодействия s - с q -информацией, $q \in G$, $G \subset J$. Тогда пара $(s, q) \subseteq [S \Rightarrow G]$ определяет (s, q) -информацию, соответствующую потенциальному информационному образу (ПАО).

Определение. Назовем (s, q) -информацию потенциальной информацией и обозначим ее через γ -информацию, где $\gamma \in S_G$, $S_G \subseteq J$. При наличии p -информации ($p \in P$, $P \subseteq J$) через канал передачи осуществляется процесс взаимодействия с p -информацией. Результатом взаимодействия является формирование u , $u \in U$. Описанный процесс представляет собой некоторую схему движения информации, представленную на рис. 1.8.

Здесь мы сознательно применили термин «движение», а не «передача», так как передача информации соответствует более узкому процессу коммуникации, скорость которого не зависит от сложности информации, а определяется лишь средствами передачи и формой сигнала. Движение же есть процесс, зависящий как от сложности информации (s -информации), ее структурной организации (g -информации), так и от уровня развития систем (соответствующих p -информации).

Синтез представленной модели с учетом коммуникационных процессов для экономических объектов дает развернутую модель движения информации, показывающую этапы ее преобразования от источника до потребителя (приемника информации) (рис. 1.9).

Таким образом, модель отражает процесс движения информации от источника, генерирующего информацию о некоторой ситуации X , до потребителя этой информации (ЛПР). В процессе своего движения на каждом этапе модели происходит преобразование информации, причем на этапах 1–3, 5–7 выполняется преобразование формы (g -аспекта), на этапе 4 – преобразование смысла (s -аспекта), на этапах 8–10 – актуализация (преобразование p -аспекта).

В процессе движения на каждом этапе коммуникационных процедур формируется спектр характеристик, отражающих соответствующий аспект информации, а в совокупности – отражающих качество предоставляемой информации.

Сформулируем понятие качества информации.

Качество информации есть совокупность свойств и признаков информации, обуславливающих ее пригодность удовлетворять в той или иной мере информационные потребности для управления экономическим объектом.

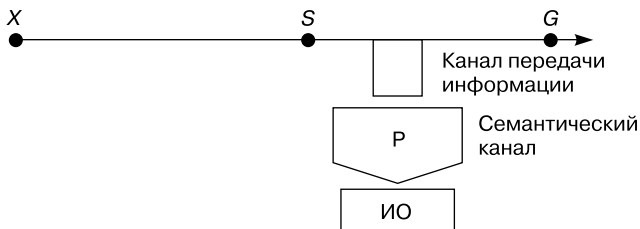


Рис. 1.8. Схема движения информации



Рис. 1.9. Модель движения информации

Тогда если Q есть мера качества информации, то Q_s , Q_G , Q_p — меры соответствующих аспектов информации и тогда

$$Q = \varphi(Q_s, Q_G, Q_p).$$

Следовательно, Q есть центральная мера (интегральный критерий) структурно-полной модели информации. Синтез и исследование свойств и характеристик подробно описаны в работе А. И. Афоничкина и С. А. Панфилова¹ и представлены в табл. 1.4.

Краткая дефиниция системы характеристик дает следующее.

Полезность информации (β) определяется степенью ее влияния на управленческие решения и степенью пригодности (преимущественно прагматический аспект) для решения именно данной задачи, позволяя оценивать предыдущие и текущие события, а также делать необходимые прогнозы. Например, сведения о планируемой рентабельности нового инвестиционного проекта оказывают влияние на решения банка о выдаче долгосрочного кредита. Для заключения контракта на поставку продукции предприятию-контрагенту такая информация не требуется.

Уровень полезности информации может быть различным в зависимости не только от ее содержания, но и в основном от типа пользователей (например, информация о выплате дивидендов для акционера полезна, а для кредитора, как правило, избыточна). Понятие «полезности» можно трактовать достаточно широко, связывая ее с такими характеристиками, как достоверность, точность и полнота описания, своевременность и др. В самом деле, для принимаемого

¹ Афоничкин А. И., Панфилов С. А. Качество информационного обеспечения в процессах управления.

Таблица 1.4. Перечень информационных характеристик и их область определения

Информационные характеристики			Область определения характеристик			
№ п/п	наименование характеристики	идентификатор	<i>S</i>	<i>G</i>	<i>S_G</i>	<i>P</i>
1	Содержательность	χ	1			
2	Полезность	β				1
3	Важность	φ	1			
4	Глубина описания	ξ	1			1
5	Значимость	η	1			1
6	Полнота описания	ζ	1			
7	Новизна	ν	1			1
8	Точность	υ	1	1		
9	Достоверность	δ	1	1		1
10	Старение	κ	1	1	1	
11	Доступность	σ			1	1
12	Количество	λ		1	1	
13	Актуальность	τ			1	
14	Оперативность	ω				1
15	Информативность	ε			1	1
16	Ценность	α	1			1

решения недостоверная или неполная информация теряет часть своих качеств и требует иных подходов при формировании решений, основанных на нечеткой или неопределенной информации. С другой стороны, взаимовлияние указанных параметров достаточно сложно и подробно исследуется в работах Афоничкина и др.¹

Достоверность информации δ , как видно из табл. 1.4, предполагает наличие факторов, снижающих достоверность как на семантическом (ошибки в содержательном описании — обычно для вторичных и иных источников), так и на синтаксическом (ошибки преобразования из одной формы представления в другую) и прагматическом (ошибки актуализации информации потребителем) уровнях информационного описания ситуации; это означает, что она должна адекватно отражать произошедшее событие. Для бухгалтерской информации, например, важно отсутствие ошибок, отражение операций в соответствии с их экономическим содержанием и принятыми правилами учета.

Полнота информации ζ о проблемной ситуации определяется как наличие в ней всех необходимых элементов семантической структуры и отношений

¹Афоничкин А. И., Панфилов С. А. Качество информационного обеспечения в процессах управления; Афоничкин А. И., Файзуллина Л. Я., Снежкина И. С. Концепция систем экспертной поддержки процессов управления и принятия решений // Проектирование информационных систем: Сб. науч. тр. — М.: МЭСИ, 1989. — С. 50–58.

между ними при описании ситуации для принятия решения. Вместе с тем информация не должна быть избыточной (за исключением случаев дублирования информации с целью ее проверки на достоверность). Неполнота предоставляемых сведений может привести к принятию неоптимального или неверного решения.

В некоторых исследованиях встречается такая характеристика, как «своевременность». Показатель своевременности обычно определяется временем поступления информации, по истечении которого она теряет «смысл» для данного конкретного применения в менеджменте. Под потерей смысла подразумевается утрата полезности, которую приносит информация для задач принятия решений. Однако необходимо иметь в виду, что соответствующая и вовремя доставленная информация имеет полезность для решения иных задач и иными пользователями. Тем самым данная информационная характеристика относится к категории потенциальной информации S_c и является композиционной составляющей характеристики старения k , отражающей несоответствие содержания информации отображенной в ней структуре источника. Сам же показатель старения отражает постепенное увеличение несоответствия структуры и свойств информационного описания целям его использования. Это означает, что чем меньше времени прошло с момента события до момента его отражения в различных источниках информации, тем большую прагматическую полезность и ценность эти данные представляют для пользователя.

Например, информация об изменении курса акций 10 дней тому назад менее полезна для инвестора, чем тот же вид информации, но за вчерашний день, перед моментом покупки. Существуют способы учета степени старения информации при ее использовании для принятия решений в зависимости от момента ее возникновения: так например, в процессе расчетов «старые» данные используются с корректирующим коэффициентом (например, индексируются, экстраполируются при прогнозировании курсов акций).

На базе получаемого информационного ресурса, выявляются взаимозависимости исходных и результативных факторов, которые служат для установления связей между явлениями, событиями, фактами. Например, в фирму поступила информация о закрытии или продаже одного из предприятий конкурента и изменении им товарной стратегии. При изучении другой информации можно установить, что предприятие ликвидируется в результате отсутствия средств. Это позволяет использовать по отношению к данному конкуренту наступательную стратегию.

Как мы ранее определили, проблемные ситуации в экономических системах обычно возникают из-за рассогласования параметров экономической ситуации (ЭС). Наличие в системе различных видов параметров ведет к появлению разных типов рассогласования и соответственно к различным подходам решения возникающих в системе проблемных ситуаций. На рис. 1.10 приведены классификация видов рассогласования и их соответствие вырабатываемым решениям.

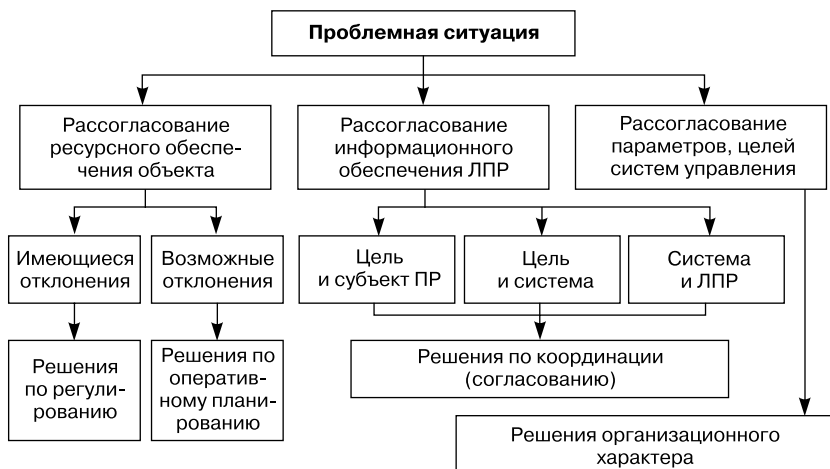


Рис. 1.10. Соответствие видов параметров рассогласования ПС классу задач принятия решений

1.5. Эффективность управления в современных условиях

Под эффективностью управленческого решения будем понимать способность экономической системы приносить эффект или достижение поставленных целей при выборе одного из множества альтернативных решений. С точки зрения экономической системы основными показателями эффективности могут служить:

- обеспечение более быстрого и полного сбора информации для принятий решения;
- оперативное доведение решения до всех исполнительных органов;
- контроль за выполнением решения и оценка его качества;
- сокращение затрат ручного труда в сфере управления;
- снижение расходов на организацию управления;
- сокращение времени на процесс управления и выработку эффективных решений.

Действия, принятые на базе некоторого управленческого решения, во многом зависят от тех характеристик решения, которые определяют способность выполнять свое назначение в процессе управления.

Такая совокупность характеристик задает качество управленческого решения¹.

К базовым свойствам и характеристикам, задающим качество решения, можно отнести:

- научную обоснованность;
- своевременность;
- реальность;
- полномочность;
- рациональность.

Первое требование (научная обоснованность) означает выработку и реализацию решения на основе использования законов и закономерностей функционирования и развития экономического объекта. Необходимо определить все аспекты, затрагиваемые в ходе управления, и выявить специфику каждого аспекта. Например, если затрагиваются такой фактор, как персонал управления (люди), то необходимо выявить социологические закономерности, если рынок — то законы маркетинговой деятельности и т. д.

Научность и достоверность элементам процесса управления обеспечивают используемые методы количественного и качественного анализа, моделирование, прогнозирование, экономико-математические методы и другие апробированные в данной конкретной сфере управления. Если формализация структуры проблемной ситуации затруднена, то используют неформальные методы — эвристические, экспертные и др. Использование новых информационных технологий на базе компьютерного моделирования позволяет повысить оперативность и качество выработки управленческого решения.

Второе требование (своевременность) предполагает такое состояние объекта управления, при котором воздействие на него происходит не раньше и не позже собственно возникновения ситуации. Эта характеристика говорит также о сроках жизни каждого решения и процедуре его отмены (замены его на своевременное). При этом необходимо обеспечивать непротиворечивость и согласованность решений при прогнозе или замене.

Вместе с тем решение должно быть реальным, т. е. желаемое и действительное должно быть согласовано на уровне практической осуществимости. Это связано как с имеющимися ресурсами, так и с наличием временного ограничения. Установление необоснованных сроков реализации решения и невыполнение требований ресурсных ограничений снижает вероятность его выполнения.

Управленческое решение должно быть полномочным и законным, т. е. решение принимается лицом, юридически уполномоченным на принятие решения, и должно быть подкреплено соответствующим нормативным законодательством, хотя бы в пределах статуса экономической системы.

¹ Рazu М. Л. Анализ и проектирование систем подготовки, принятия и реализации решений. — М.: АНХ, 1985. 32 с.

Рациональность отражает четкость и правильность построения решения для его однозначной интерпретации.

На конкретные значения этих характеристик во многом влияют факторы, находящиеся в прямой связи с ними. Состав влияющих факторов зависит от тех аспектов, которые исследуются при анализе проблемной ситуации и выработке управленческого решения и обычно составляют следующие группы:

- экономические;
- социально-психологические;
- организационные;
- методологические и др.

Экономические факторы определяют необходимые трудовые и финансовые ресурсы на саму процедуру выработки решения.

Обычно подготовка и анализ данных для решения ведется группой людей. Эффективность этой работы зависит от их психологической и эмоциональной совместимости, уровня общности интересов, ценных ориентиров и целей. Особой является роль руководителя, который привносит субъективный фактор на социально-психологическое поле коллектива. А это во многом зависит от уровня его знаний, опыта, интуиции, организаторских способностей и др.

К группе организационных факторов можно отнести:

- структуру и состав аппарата управления;
- уровень иерархии управления;
- организацию информационного и функционального обеспечения управления;
- механизм рационального распределения прав и полномочий по уровням управления для принятия управленческих решений.

Рациональное распределение обычно таково, что текущие решения принимаются на нижних уровнях иерархии, перспективные, концептуальные — на высшем уровне. Это влияет и на размещение необходимой информации по уровням.

Чрезмерная централизация сковывает инициативу, способствует пассивности и даже противодействию. Необходимо четкое распределение прав и обязанностей по уровням.

Основным предметом и продуктом труда при выработке управленческих решений является информация, которая и задает методологию работы с ней. Основные этапы: сбор, регистрация, передача, обработка, анализ данных. Эти этапы могут характеризоваться различными способами их выполнения: вручную, механической обработкой, автоматической обработкой. Сложность проблемы задает большие объемы информации, трудоемкость анализа, разработку новых теоретических процессов выработки и реализации.

Однако приведенная совокупность факторов часто проявляется совместно, в комплексе, причем изменение одного ведет к изменению системы других, взаимосвязанных.

Кроме основных вышеперечисленных факторов некоторое влияние оказывают факторы, указывающие на их природу, которые можно разбить по:

- времени действия (постоянные, временные);
- значимости (основные, второстепенные);
- месту возникновения (внешние, внутренние);
- составу (простые, сложные);
- направлению влияния (прямые, опосредованные);
- характеру воздействия (объективные, субъективные).

Учет приведенного комплекса факторов позволяет более четко определять их взаимосвязь и влияние на качество формируемых управленческих решений.

Управленческое решение включает совокупность действий ЛПР, определяющих на основе знания объективных законов функционирования экономической системы (объекта), анализа информации о ее состоянии и собственных знаний программу разрешения проблемной ситуации. Решение представляет собой продукт и цель управленческой деятельности, обуславливающие конечный результат задачи принятия решений, а именно — предписание к действию, изменяющему существующее состояние экономической системы.

При подготовке управленческих решений руководитель имеет дело со следующими типами процессов:

- а) процессы, которыми он управляет (на предприятии — техника, кадры, финансы и др.);
- б) процессы, не управляемые им (спрос, конкуренция, требования потребителей);
- в) промежуточные процессы, находящиеся, например, в компетенции вышестоящих органов.

Для выработки необходимо учитывать все. Говоря о выработке решений, необходимо остановиться на стиле работы руководителя. Обычно его разбивают на 4 группы¹:

1. *Решительный стиль*. Быстрые решения при рассмотрении малого числа вариантов. Требуются обобщающие и сжатые данные без возврата к пройденному. Работает хорошо в условиях ограниченного времени для принятия решений (армия).

2. *Гибкий стиль*. Не требует много информации, но в зависимости от информации и ситуации может изменить решение. Полагается в основном на интуицию. Информационные системы используются редко и только для обобщающих данных. Исследования вариантов не делается.

3. *Иерархический стиль*. Использует большой объем информации, консультируется с экспертами. Выбирает «наилучшее» из альтернативных решений.

¹ Кукур Б. Л. Информация и процессы принятия решений руководителем. — Л.: ЛФЭИ, 1984. 81 с.; Разу М. Л. Оптимизация управленческих решений. — М.: МИУ 1986. 64 с.

Требуется информационная система и эксперименты, но не работает с прогнозом вариантов.

4. Интегрирующий стиль. Анализ большого количества информации. Генерация и анализ вариантов. Формирование новых решений. Использует информационные и экспериментальные системы.

Для руководителей, которые используют процедуры построения гипотез развития проблемной ситуации и их последующий анализ, возможна классификация типов принимаемых решений, которая учитывает соотношение процессов построения гипотез — возможных состояний $\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, в которые может переходить исходная проблемная ситуация S_0 под воздействием внешних факторов, и возможность контроля процедур перехода K при их реализации¹:

1. Если гипотезы $S \subseteq \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ построены без учета их дальнейшей реализации и формирования процессов контроля $K \subseteq \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$, то такие решения носят название импульсивных, т. е. $S \gg K$.

2. Если гипотезы $S \subseteq \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ построены так, что процедура контроля и реализации имеет немного меньшую степень возможностей мониторинга гипотез, то такие решения носят название решения с риском, т. е. $S > K$.

3. Если гипотезы $S \subseteq \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ сбалансированы с процедурами реализации и формирования процессов контроля $K \subseteq \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$, то такие решения называются «уравновешенные решения», т. е. $S = K$ (на каждую гипотезу организована процедура мониторинга и контроля процесса).

4. Если процедура формирования процессов контроля удовлетворяет условию $K \subseteq \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$, а реализации выбора преобладают над гипотезами $S \subseteq \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, то процедура решения удовлетворяет условию, когда количество гипотез несколько меньше, чем операций контроля, т. е. $S < K$. Такие решения носят название гарантированных.

5. Если гипотезы $S \subseteq \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ построены так, что процедура контроля и реализации $K \subseteq \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$ значительно превышает возможности системы гипотез, то такие решения называются осторожными, т. е. $S \ll K$.

Принятие решений связано, кроме всего прочего, с индивидуальной научной и практической мотивацией ЛПР как активного элемента системы управления. В качестве научной мотивации выделяют следующие стимулы:

- наличие необходимой для принятия решения информации;
- должный уровень логического мышления;
- знание математических методов анализа и моделирования экономических процессов и др.

К практическим стимулам можно отнести:

- опыт работы по данной проблеме;
- интуицию;
- знание предметной области
- и пр.

¹Дорохов А. А. Теория принятия решений оперативных решений. — М.: МАИ, 1989. 40 с.

Однако несовершенство любого элемента ведет к принятию неоптимального решения (это может быть из-за нехватки информации, интуиции, опыта, логики, знаний и др.).

Под эффективностью управленческого решения как результата процедуры принятия решения будем понимать способность выбранного и реализованного решения приносить управленческий эффект, т. е. результаты принятого решения положительно сказываются на финансово-экономических показателях экономической системы и характеризуют состояние системы как (минимум) удовлетворительное. Обычно считается, что на эффективность решения влияют факторы, связанные с недостаточно высоким уровнем исполнительности.

Поэтому основной упор в системе повышения эффективности решения делается на такие формальные процессы, как контроль за исполнением решений. Бесспорно, данный фактор немаловажен в системе контроля процесса выбора, однако не менее существенно повышение качества самих управленческих решений на стадии их разработки и планирования реализации.

Так, в работе В. А. Созинова¹ дается анализ причин, снижающих эффективность реализации принятых решений, и показывается, что именно низкое качество решения занимает серьезное место среди других причин неисполнения решений (табл. 1.5).

Таблица 1.5. Наиболее существенные причины неисполнения управленческих решений^{1, 2}

Причины (факторы) неисполнения управленческих решений	Средняя доля фактора, %
Порок решения	36
Вина исполнителя	23,33
Непредвиденные обстоятельства	38,67

Рассмотрим наиболее значимые причины, приводящие к возникновению такого фактора, как порок решения, который определяется среди других причин на уровне формирования и разработки управленческого решения.

К наиболее значимым причинам можно отнести следующие:

1. Большой объем принимаемых решений, утверждаемый руководством фирмы. Количество их зависит от многих обстоятельств: от величины организации, ее отраслевой и территориальной принадлежности, особенностей стиля деятельности аппарата управления и руководителя и т. д. Однако практика и теория принятия решений показывают, что большое количество решений ведет к фактическому неисполнению части из них. Вновь принимаемые решения обычно не учитывают предыдущие, дублируют существующий организационный порядок. Каждое принимаемое решение поступает в организационную среду, уже наполненную решениями, принятыми ранее. Новое вступает с ними

¹ Созинов В. А. Разработка управленческого решения // Конспект лекций. Ч. 1. — Владивосток: ВГУЭиС, 1999.

² Пригожин А. И. Методы развития организаций. — М.: МЦФЭР, 2003. 864 с.

в определенные отношения: оно может дополнять, развивать предыдущие, дублировать их, противоречить им. Однако во вновь принимаемых решениях при значительном числе количественных решений эта взаимосвязь учитывается сравнительно редко. В такой ситуации у подчиненных возникает мнение, что не все решения предназначены для исполнения.

2. Дублирование организационного порядка, т. е. принятие таких решений, которые предписывают исполнителям делать то, что они должны делать без всякого напоминания в силу своих прямых должностных обязанностей. По данным исследований, доля этого фактора составляет от 53 до 78% заданий, содержащихся в приказах руководства.

Подчиненные приучаются действовать только после прямого указания. Руководителю приходится без конца вмешиваться, чтобы решались текущие, рутинные проблемы. Отсюда перенос акцента в управлении на текучку.

3. Трансформация цели решения в процессе его движения по иерархическим уровням системы управления. Обычно решения поступают их исполнителям не с того уровня, на котором они принимаются, а через некоторое количество иерархических уровней. Это особенно характерно для управленческих решений, которые приняты «во исполнение» решений вышестоящих организаций. При этом на каждом уровне иерархии, через который проходят решение, оно претерпевает определенные изменения, расчленяются на задания, операции, детализируются, расписываются по исполнителям и т. д., что может привести к изменению смысла решения или цели достижения. Такой распределенный по уровням управления план реализации решения может не соответствовать первоначальному замыслу решения в силу расхождения интересов различных иерархических уровней.

4. Принятие псевдорешений или решений, не несущих конкретного содержания. Они содержат неконкретные, размытые, а следовательно, непроверенные задания, отражают общую установку, пожелания: «обратить внимание», «поставить на должный уровень», «принять необходимые меры», «усилить требования» и т. д. Около 10% приказов руководителей производственных организаций можно охарактеризовать как псевдорешения. Их формирование связано с явлением, получившим название «бюрократическое алиби», которое имитируют управляющие воздействия, так называемые псевдорешения, приводящие к псевдоуправлению.

5. Недостаточная технологизация процессов подготовки и принятия решения. Большую часть решений, принимаемых в организациях, составляют типовые, регулярно повторяющиеся, программируемые решения, удельный вес которых в общем объеме решений около 58%. Но сама технология подготовки и принятия таких управленческих решений не разрабатывается.

6. Несбалансированность управляющего воздействия по функциональному признаку. Количество решений, касающихся тех или иных функций и подразделений организации, — важнейший показатель «объема внимания» к ним со стороны руководителя. Нормальной считается ситуация, когда «объем внима-

ния» соответствует значимости решаемой проблемы, месту подразделения в производственно-технологической цепочке организации. Однако нередко случается, когда непропорционально большая доля «объема внимания» со стороны руководителя уделяется узкому кругу проблем текущего функционирования организации, тем или иным ее подсистемам. Обычно это связано с чрезмерно высокой или, наоборот, чрезмерно низкой активностью тех функциональных служб, отделов аппарата управления, которые готовят решения.

7. Отсутствие процедуры согласования решений с их исполнителями в связи с тем, что она считается якобы излишней при подготовке решений, поскольку требует затрат времени. Но затраты времени компенсируются в ходе выполнения решений, так как люди быстрее и охотнее выполняют те задания, в разработке которых они принимали участие. Процедура согласования решений с их исполнителями может рассматриваться как один из способов привлечения служащих к управлению.

8. Задание нереальных, «мобилизующих» сроков для реализации решения. Такой прием иногда используется руководителем для активизации исполнительской активности подчиненных. При достаточно частом применении он дает крайне негативные результаты.

9. Недостаточное информационное обеспечение для принятия решений, которого подчас не хватает для распознавания проблемной ситуации на ранних стадиях ее проявления и предупреждения неблагоприятных тенденций.

10. Недостаточная эффективность механизма оценки выполнения решений. Нередко механизм оценки выполнения решений ориентирован на фиксацию «внешних» параметров исполнения, преимущественно сроков, а не на оценку достигнутых результатов.

- В этой связи можно говорить, что конечный результат и продукт управленческой деятельности, т. е. управленческое решение, во многом обусловлены качеством принимаемых решений и самой управленческой деятельности, так как они определяют стратегию и тактику формирования управляющего воздействия и всего процесса реализации (исполнения) принятых решений. Лучшим в этом случае можно считать решение, в процессе выполнения которого будет минимальное число корректировок. В свою очередь, потребность в коррекции решений будет меньшей, если они тщательно подготовлены, если максимально большое число возможных ситуаций окажутся прогнозируемыми и найдут отражение в подготовке вариантов решения. Все это требует соблюдения ряда определенных организационно-технологических требований (условий), к числу которых относятся:
- сбалансированность обязанностей и прав руководителей при принятии управленческих решений;
- единство распорядительства;
- непротиворечивость, строгая согласованность решений;
- конкретность и полномочность решений;

- своевременность, гибкость и подвижность решений.

Сбалансированность обязанностей и прав — необходимая предпосылка качества управленческих решений. Одной из распространенных ошибок в практике управления является несоответствие обязанностей и прав при принятии решений.

Решение в системе управления должно приниматься, как правило, на том уровне, где возникла ситуация, проблема, и по возможности тем лицом (звеном управления), которое располагает наибольшей информацией по данному вопросу.

Нечелесообразно процедуру решения искусственно изымать из единого технологического процесса управления и передавать ее на вышестоящий уровень системы управления. Каждое ЛПР, которому передается ответственность за решение, должно четко знать, за что оно ответственно и в чем выражается рациональность решения.

Непротиворечивость информации, ее согласованность на разных уровнях управления — еще одно важное требование к качеству управленческих решений. Формулирование задачи принятия решения должно быть точным, ясным, не допускающим разночтений и несогласованности с ранее принятыми решениями. Если новое решение не соответствует принятому ранее, то последнее следует отменить или оговорить процедуру его реализации в изменившихся условиях, дать указания, как согласовать новое решение с ранее принятым. В противном случае исполнители будут по собственному усмотрению выполнять любое из противоречивых решений, произвольно толковать как старое, так и новое решение, уходить от исполнения указаний или выполнять их недобросовестно.

Решение будет обоснованным и позволит более успешно выполнить задачу, если оно принято на основе достоверной информации о внутреннем состоянии объекта, а также внешней среды, в которой он функционирует, с учетом тенденций его развития и если для его реализации имеются реальные возможности. Если решение не обосновано и для его осуществления еще не созрели необходимые материальные условия, то оно заведомо невыполнимо или его проведение в жизнь вызовет экономические или моральные потери.

Конкретность — еще одно важное требование к качеству решения вне зависимости от того, относится ли оно ко всему экономическому объекту, или к его отдельным объектам и процессам.

Управленческое решение должно быть полномочным, т. е. приниматься органом или лицом, имеющим достоверной информации о внутреннем состоянии объекта, а также внешней среды, в которой он функционирует, с учетом тенденций его развития и если для его реализации имеются реальные возможности. Если решение не обосновано и для его осуществления еще не созрели необходимые материальные условия, то оно заведомо невыполнимо или его проведение в жизнь вызовет экономические или моральные потери.

Нельзя рассматривать даже самое компетентное решение как догму. Экономическая система является подвижной, динамической, постоянно разви-

вающейся. Это значит, что управленческие решения должны быть гибкими, подвижными. Принимать их нужно тогда, когда в них ощущается настоятельная необходимость, а вместе с тем и отменять, если они не соответствуют духу времени или обстановке; решения следует корректировать соответственно изменениям, происходящим в объекте и субъекте управления.

С точки зрения организационной системы экономического объекта к основным качественным показателям эффективности можно отнести:

- обеспечение более оперативного и полного сбора информации по проблеме для принятия управленческого решения;
- качественную и адекватную обработку информации о возникающих проблемных ситуациях;
- формирование оптимального для данной ПС решения;
- оперативное доведение принятого решения до всех исполнительных органов;
- организацию четкого выполнения решения;
- уровень контроля за выполнением решения и оценку его качества;
- сокращение затрат ручного труда в сфере управления;
- снижение расходов на организацию управления;
- сокращение времени на процесс управления и выработку эффективных решений и др.

В связи с тем что для некоторых задач принятия решений разрабатываются дорогостоящие процедуры обоснования и выбора решений, для анализа эффективности решения необходимо производить учет эффективности и самого метода решения.

Как известно (ранее мы определили в п. 1.1), каждый класс задач принятия решений требует адекватных методов решения. Так, для структурированных задач используются в основном математические методы, позволяющие четко формализовать задачу и получать необходимые количественные результаты оптимизационного типа. К таким методам можно отнести: лексикографические методы, методы сетевого анализа, методы линейного и нелинейного программирования, методы исследования операций и др. Это методы используют математические зависимости показателей, оценивающие состояние экономической системы и его прогнозирование, для поиска оптимального решения.

Формализации подвергаются цели задачи, ограничения, проводится проверка соответствия реальной ситуации и прогнозирование. Обычно удельный вес оптимизационных задач в структуре управления экономическим объектом составляет 1–1,5%.

Для слабоструктурированных задач используются статистические и вероятностные методы, а также методы, использующие нечеткие множества. Так, в группе методов математической статистики для обоснования решений в условиях неполной или неточной информации необходимо вести учет случайных и нечетких параметров. В эту группу можно включить методы корреляци-

онного и регрессионного анализа, кластерный анализ, методы распознавания образов и др.

Для решения задач, относящихся к классу неструктурируемых, используются в основном эвристические методы (метод Дельфы, метод Кингисеп, метод Курно и др.).

Учитывая вышеизложенное, необходимо отметить, что адекватный выбор метода, соответствующего сущности проблемной ситуации, — достаточно важная проблема сама по себе. Каждый из методов обладает своими достоинствами и недостатками, требует определенного уровня затрат. Поэтому весьма существенным для выбора метода решения может служить анализ свойств методов с позиций, указанных в табл. 1.6.

Таблица 1.6. Сравнительный анализ методов решения

Свойства (характеристики) методов	Методы решения задач	
	эвристические	математические
Объективность	—	+
Возможность не строить формализованную модель	+	—
Простота реализации	—	+
Степень разработанности метода	+	+
Учет скачков данных	+	—(+)
Использование нечетких понятий и данных	+	—(+)
Чувствительность к субъективным качествам	+	—
Точность прогнозирования	—	+
Универсальность	+	+
Требовательность к квалификации ЛПР	+	+

Анализ используемых в практике управления методов показывает, что сложные проблемы сводятся к простым. Упрощение и огрубление модели позволяют применить к ним более простые методы, но и с соответствующей степенью точности решения. При этом с точки зрения информационного обеспечения можно сделать следующий вывод: чем больший объем запрашивало ЛПР, тем ниже качество решения (в начале работы), и этот показатель улучшался в конце работы.

Кроме качественных показателей эффективности управленческого решения можно задать и некоторые количественные характеристики. Так, например, предлагается использовать характеристику качества решения Θ ¹:

$$\Theta = \left(\frac{1}{r_j}\right) \sum_{i=1}^n \prod_{s=1}^m [1 - \phi_s(1 - q_i^s)],$$

¹Керов И. П. Методы принятия решений. — М.: МЭСИ, 1980. 48 с.

где r_j — число решений используемых в j -группе; ϕ_s — коэффициент значимости задачи (степень ее влияния на результат); q_j^s — коэффициент степени соответствия решения отдельной задачи опорному решению.

Другой характеристикой оценки эффективности принятия решений является время принятия решений t :

$$t_j = \left(\frac{1}{r_j}\right) \sum_{j=1}^r t_j.$$

Особенности и требования к проблеме повышения эффективности процедур принятия решений. В качестве некоторых особенностей, которые необходимо учитывать при реализации процедур принятия решений, можно сформулировать следующие:

1. Расширение хозяйственной самостоятельности предприятия, переход на экономические методы управления, развитие прямых связей и другие факторы, обуславливающие ряд существенных моментов, которые необходимо учитывать при построении эффективных процедур принятия управленческих решений.

2. Особенности и требования к проблеме повышения эффективности процедур принятия решений обычно формулируются в виде следующего набора:

- *ориентация производства на потребителя*, что предполагает развитие данной функции на базе решения определенного комплекса задач:
 - а) осуществление функции маркетинга;
 - б) снабжение и сбыт в целях прямых связей, в том числе экспорт;
 - в) развитие фирменного сервиса;
 - г) внешнеэкономическая деятельность (кооперированные связи и компенсированные поставки);
 - д) формирование собственной сбытовой сети;
- *реструктуризация* организационной структуры системы управления в связи с переориентацией производства, функционирующего в соответствии с изменившимися целевыми установками и критериями;
- широкое *привлечение интегрированных средств поддержки* процедур принятия решений на всех этапах управления;
- *реорганизация кадровой политики* в сфере изменения технологии управления и принятия решений.

К основным требованиям построения эффективной системы управления и принятия решений можно отнести:

- комплексное решение проблемы управления экономической системы на базе использования перспективных методов проектирования организационных и производственных структур, к которым, в свою очередь, можно отнести:
 - а) типовые варианты линейно-функциональных структур (с типовой номенклатурой функционального управления, например использование

общепромышленного метода материализации по разделению организационной структуры);

- б) информационно-технологические методы проектирования;
- в) проектирование на основе анализа структуры целей.

Однако данные методы не учитывают существующей активности элементов структуры управления (активности персонала управления), поэтому их необходимо дополнить:

- учетом активности элементов организационной структуры управления;
- оценкой и анализом степени активности элементов организационной структуры управления и учетом фактического рассогласования их целей с общесистемными.
- реорганизацией функций и задач управления и принятия решений с учетом дестабилизирующих факторов и неопределенных параметров внешней среды.

Так, рассматривая процедуры управления инновационными процессами, можно видеть, что инновационный процесс складывается из следующих фаз:

- наука (проведение теоретических исследований по решению ПС);
- исследование (анализ и моделирование разработок);
- разработка (определение технологических характеристик изделий, технологий изготовления и др.);
- производство (подготовка производства, запуск и т. д.);
- потребление (использование потребителем, анализ требований и рекламаций и пр.).

В существующих условиях сами предприятия осуществляют все эти процедуры. Таким образом, весьма актуальной становится интегрированная поддержка указанных фаз на всех этапах осуществления и управления инновационными процессами на предприятии. Причем это объясняется еще и тем, что время осуществления каждой фазы должно быть минимальным и существует необходимость распараллеливания некоторых этапов.

Возможна следующая классификация инноваций на предприятии:

- продукции;
- технологии;
- рабочей силы;
- управленческой деятельности.

В свою очередь, процесс управления нововведением требует от управленческой системы способности к быстрому упорядочиванию своей структуры в соответствии с изменившимися целевыми установками и возможностями гибкой адаптации. В сфере инновационной деятельности устаревшая организационная форма процесса управления препятствует совершенствованию процедур управления на предприятии.

Инновации — это нетрадиционные задачи, для решения которых не подходит устоявшаяся организационная структура. Нестандартные новые работы требуют соответствующего к ним отношения.

Примером гибких организационных структур может служить система управления на некоторых японских предприятиях, где не закрепляется ни организационная форма управления, ни порядок, ни норма, а существуют так называемые рабочие группы, задействованные только в инновационных процессах.

Система хозяйствования, ориентированная на экономическую самостоятельность, на активное использование рыночных регуляторов производства, предъявляет ряд принципиально новых требований к работе ЭС, несоблюдение которых может привести к их распаду.

Наряду с хорошим знанием внешней среды, в условиях которой строятся взаимоотношения экономических систем со своими партнерами, большое внимание следует уделять организации эффективных процессов принятия решений как основного звена процедур управления, от которого в немалой степени зависят экономические показатели предприятий.

Пути совершенствования процедур управления и принятия решений показаны в табл. 1.7.

Таблица 1.7. Примерные пути развития процедур управления экономической системы

Направление	Основные пути реализации	Трудности реализации	Дополнительные мероприятия	Оценка
Введение экономических методов управления и пр.	Перевод подразделения на экономическую самостоятельность	Отсутствие опыта, нормативной базы	Изучить опыт, нормативные документы	
Развитие новых сфер деятельности	Введение функции маркетинга	Отсутствие опыта, методик	Изучить зарубежный опыт, разработка методов управления	
	Служба внешнеэкономической деятельности			
	Развитие производства			

1.6. Принятие решений в уникальных проблемных ситуациях

Как мы определили ранее, для реализации процесса принятия решения необходимы следующие элементы:

- наличие проблемной ситуации (объект решения);

- субъект решения (ЛПР);
- цели решения (определяемые системными или личными интересами ЛПР);
- совокупность альтернативных решений;
- приоритеты и правила оценки функции полезности альтернатив;
- ресурсы для организации управленческих воздействий (инструмент решения);
- ограничения по ресурсам и возможностям.

В процессе принятия решения субъект решения формирует набор инструментов и механизмов воздействия на объект решения. Будет ли данный набор действий рациональным или нет, зависит от того, противоречат ли знания субъекта (ЛПР) протекающим в исследуемой системе процессам. Имеются в виду:

1. Декларативные знания (объективные) — знания о каких-то объектах, состояниях, процессах, которых хотели достичь.
2. Знания о предпочтениях элементов в структуре проблемной ситуации и возможных изменениях (ценности, принятые в обществе, религии, политике).
3. Знания о действиях и экономических закономерностях (процедурные знания).

Если проблемная ситуация является типовой, т. е. ее появление ожидаемо и, возможно, прогнозируемо, то процесс решения сводится к выбору типовых стратегий решения.

Если же проблема является уникальной (нетиповой), то такая задача требует тщательного исследования всех аспектов процесса принятия решения и относится к задачам уникального выбора.

В последнем случае процесс взаимодействия субъекта с объектом получается достаточно сложным и требует тщательного исследования всех этапов принятия решения.

В связи с этим для полного анализа проблемы и реализации эффективного решения следует придерживаться нескольких принципов при построении модели принятия решений:

1. Принципа взаимной полноты.
2. Принципа непротиворечивости во взаимоотношениях и продвижении.
3. Принципа экономии.
4. Принципа непротиворечивости принятым культурным нормам.

Для того чтобы выработать и принять управленческое решение, ЛПР должно хорошо разбираться не только в понятийном аппарате теории принятия решения, но и достаточно квалифицированно применять на практике существующие методы и модели управленческого решения:

- методологию управленческого решения;
- методы разработки управленческих решений;
- организацию разработки управленческого решения;
- оценку качества управленческих решений.

Кратко обобщим инструментарий и понятийный аппарат теории принятия решений, рассмотренные ранее.

Методология управленческого решения представляет собой логическую организацию деятельности по разработке управленческого решения, включающую формулирование цели управления, выбор методов разработки решений, критериев оценки вариантов, составление логических схем выполнения операций.

Методы разработки управленческих решений включают в себя способы и приемы выполнения операций, необходимых в разработке управленческих решений. К ним относятся способы анализа, обработки информации, выбора вариантов действий и пр.

Организация разработки управленческого решения предполагает упорядочение деятельности отдельных подразделений и отдельных работников в процессе разработки решения. Это осуществляется посредством регламентов, нормативов, организационных требований, инструкций, ответственности.

Технология разработки управленческого решения — вариант последовательности операций разработки решения, выбранный по критериям рациональности их осуществления, использования специальной техники, квалификации персонала, конкретных условий выполнения работы.

Качество управленческого решения — совокупность свойств, которыми обладает управленческое решение, отвечающих в той или иной мере потребностям успешного разрешения проблемы.

Объект принятия управленческого решения — различные аспекты и направления деятельности предприятия независимо от его формы собственности. В частности, объектом принятия решения являются следующие виды деятельности:

- техническое развитие;
- организация основного и вспомогательного производства;
- маркетинговая деятельность;
- экономическое и финансовое развитие;
- организация заработной платы и премирования;
- социальное развитие;
- управление;
- бухгалтерская деятельность;
- кадровое обеспечение;
- прочие виды деятельности.

Решение — результат выбора из множества вариантов, представляет собой руководство к действию на основе разработанного проекта или плана работы.

Правильность и эффективность принятого решения во многом определяется *качеством экономической, организационной, социальной и других видов информации*. Условно все виды информации, которые используются при принятии решения, можно подразделить на:

- входящую и исходящую;
- обрабатываемую и необрабатываемую;
- текстовую и графическую;
- постоянную и переменную;
- нормативную, аналитическую, статистическую;
- первичную и вторичную;
- директивную, распределительную, отчетную.

Ценность получаемой информации зависит от точности задачи, так как правильно поставленная задача предопределяет необходимость конкретной информации для принятия решения.

Принятие решений присуще любому виду деятельности, и от него может зависеть результативность работы одного человека, группы людей или всего населения государства. С экономической и управленческой точек зрения принятие решения следует рассматривать как фактор повышения эффективности производства. Эффективность производства, естественно, в каждом конкретном случае зависит от качества принятого менеджером решения.

Все принимаемые в любой сфере деятельности решения можно условно классифицировать и подразделить на решения по:

- стратегии предприятия;
 - управлению прибылью;
 - управлению продажами;
 - управлению издержками
- и пр.

Принятие решения в уникальных ситуациях, как правило, сопряжено со значительными исследованиями, обобщением и оценкой проблемы, организацией формирования системы альтернативных решений и проведением выбора направления действия. И если решение принимается без указанных условий, т. е. без специальной проработки альтернативы (как это возможно при типовых ситуациях), то рациональное решение принять весьма трудно.

Так как ЛПР — субъект решения действует в организационной структуре и сам является ее частью, то в этой ситуации ему необходимо учитывать и возможности самой структуры управления, в том числе ее тип, характеристики управляемости, запаздывание воздействия, время принятия решения, ограничения по уровню управления и пр. Таким образом, необходимо кроме собственно знаний иметь в виду и формально-структурные аспекты системы управления, а именно потенциальные *возможности организационной структуры управления*:

- Степень способности применяемой организационной структуры управления обеспечить получение нормы прибыли.
- Степень способности существующей структуры управления создавать условия для повышения нормы прибыли за счет мероприятий НТП.

- Степень способности быстро реагировать на изменение спроса и в соответствии с этим осуществлять действия.
- Степень способности организационной структуры управления обеспечить рост производительности труда за счет подетальной специализации общественного труда и производства.
- Степень эффективности системы производственного контроля при данной организационной структуре управления.

В качестве диагностических признаков возникновения уникальных ситуаций на предприятии может служить динамика итоговых показателей деятельности предприятия (организации), сформулированный прогноз, оценка воздействия факторов нестабильности на показатели и др.

Например, в результате деятельности предприятия стали резко ухудшаться показатели конечных результатов работы (повышение себестоимости продукции, снижение роста производительности труда и его качества, прибыли и рентабельности), а также возникли конфликтные ситуации, высокая текучесть кадров. Но обычно уникальность проблемы определяется сильной зависимостью показателей деятельности предприятия от воздействия внешних факторов (усиление конкуренции, инфляция, возникновение новых технологий и пр.).

В отличие от уникальных проблем для типовых ситуаций возможна разработка запрограммированных решений как результата реализации определенной последовательности этапов или действий, которые показали свою эффективность для предыдущих задач аналогичного класса. В этом случае выбор происходит из ограниченного количества альтернативных решений по заранее известной проблеме. Принятые ранее решения, как правило, являются типичными, повторяющимися и могут быть с успехом формализованы, т. е. приниматься по заранее определенному алгоритму. Поэтому руководство организаций часто формализует решения для определенных, регулярно повторяющихся ситуаций, разрабатывая соответствующие правила, инструкции и нормативы.

Для уникальной ситуации нет готовых решений и требуется пройти по всем фазам и этапам процесса принятия решения. Формализованность процесса видится здесь не в фиксированных решениях, а в стандартной схеме выполнения тех или иных этапов решения.

Формализация принятия решений повышает эффективность управления в результате снижения вероятности ошибки и структуризации каждого элемента процесса принятия решения. В таких случаях большую роль играют интеллектуальные способности, талант и личная инициатива ЛПП.

Конечно, на практике большинство решений занимает промежуточное положение между этими двумя крайними точками, и в процессе их разработки допускается как проявление инициативы (искусства решения), так и применение формальной процедуры (наука решения). Конкретные методы, используемые в процессе принятия решений, будут рассмотрены в следующих разделах.

Глава 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И КАТЕГОРИИ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

2.1. Основные определения и постановка задачи принятия решений

Рассмотрим основные определения и понятия, используемые в теории и практике принятия управленческих решений¹.

В предыдущем разделе мы использовали ряд понятий и категорий, которые необходимо уточнить и сформулировать их определения.

Определение 1. Задачи принятия решений в процессах управления экономическими объектами представляют собой управленческие задачи, направленные на выработку (определение) наилучшего (эффективного, оптимального) способа действия и его реализацию для достижения поставленных целей.

Определение 2. Управленческое решение представляет собой совокупность действий ЛПР, определяющего на основе знания объективных законов функционирования экономической системы (объекта), анализа информации о ее состоянии и собственных знаний программу разрешения проблемной ситуации (ПС). Решение есть продукт и цель управленческой деятельности, определяющие конечный результат задачи принятия решений, а именно предписание к действию, изменяющему существующее состояние экономической системы.

Определение 3. Под ситуацией в экономической системе понимается набор параметров и условий, используемых для описания состояния экономической системы.

Определение 4. Проблемная ситуация характеризует некоторое состояние экономической системы (объекта), элементы которой на момент времени t вошли в противоречие между желаемым и действительным состоянием системы, что препятствует нормальному функционированию или может привести к разрушению системы, т. е. фактическое состояние экономической системы не соответствует желаемому.

¹ *Афоничкин А. И.* Принятие управленческих решений в экономических системах; *Вилкас Э. И.* Оптимальность в играх и решениях. — М.: Наука, 1990. 256 с.; *Евланов Л. Г.* Основы теории принятия решений. — М.: МИФИ, 1979. 78 с.; *Евланов Л. Г.* Теория и практика принятия решений; *Евстигнеев С. А.* Анализ и проектирование подготовки, обоснования и принятия решений. — Л.: ЛЭТИ, 1980. 180 с.; *Жандаров А. М., Ушинский И. К.* Решения в проблемных ситуациях. — М.: АНХ, 1985. 121 с.; *Замах В. П.* Выработка управленческих решений на предприятии.; *Индруанас А. В.* Системный анализ и процедуры принятия решений. — Вильнюс: Лит. ГУ, 1987. 57 с.; *Кукор Б. Л.* Информация и процессы принятия решений руководителем.; *Методы принятия решений* / Под ред. Е. Г. Панченко. — Киев, КИИЖТ, 1986. 68 с.; *Остаток С. Ф., Рытова С. А.* Принятие решений в организационных системах. — М.: ЦНИИАтоминформ, 1978. 92 с.; *Планкет Л., Хейл Г.* Выработка и принятие управленческих решений. — М.: Мир, 1984. 167 с.; Принятие управленческих решений в отраслях промышленности. — Донецк: ИЭП АН УССР, 1983. 130 с.

Определение 5. Под **целью (целевая функция)** управленческого решения понимается идеальное представление желаемого состояния экономической системы или некоторой проблемной ситуации, характеризующее результат деятельности системы или конечное состояние развития проблемной ситуации.

Определение 6. **Лицо, принимающее решение (ЛПР)**, представляет собой субъект решения, наделенный соответствующими полномочиями для изменения существующего состояния экономического объекта в целях выработки эффективного управленческого решения и некоторыми правами по распоряжению имеющимися ресурсами в пределах выделенных полномочий.

Определение 7. **Процесс принятия решений** представляет последовательность этапов и процедур, направленных на разрешение проблемной ситуации. Процесс принятия решений — однократный процесс выбора ЛПР одного из альтернативных вариантов, характеризующихся некоторыми объективными или субъективными оценками по заданным характеристикам (критериям) эффективности.

Определение 8. **Альтернативные решения** характеризуют различные по эффективности взаимоисключающие варианты разрешения проблемной ситуации (варианты к действию).

Определение 9. **Предпочтение** (функция предпочтения) позволяет задать интегральную оценку качества сформированных решений, основанную на объективном анализе и субъективном понимании эффективного решения.

Определение 10. **Критерий качества** представляет собой некоторую функцию, предназначенную для определения наилучшего решения.

Определение 11. **Допустимое решение** представляет собой некоторую альтернативу управленческого решения, удовлетворяющую принятым в задаче ограничениям.

Определение 12. **Оптимальное решение** (эффективное, наилучшее) представляет собой допустимое решение, обеспечивающее экстремальное (оптимальное, эффективное) значение критерия выбора.

Определение 13. **Эффективность управления** — характеристика организационной структуры управления экономическим объектом, определяющая способность системы управления приносить эффект при функционировании экономической системы и указывающая степень этого эффекта. С точки зрения системы управления к основным характеристикам эффективности управления можно отнести:

- обеспечение более быстрого и полного сбора информации для принятия решения;
- оперативное доведение решения до всех исполнительных органов;
- организация четкого выполнения решения;
- контроль за выполнением решения;
- сокращение затрат ручного труда в сфере управления;

- снижение расходов на содержание аппарата управления;
- снижение времени на процессы управления.

Определение 14. **Правило выбора** решения дает ЛПР возможность однозначного выбора наиболее предпочтительного решения из множества альтернативных.

Определение 15. **Цикл управленческого решения** характеризует время с момента выявления проблемной ситуации до момента реализации принятого решения и анализа его эффективности.

В процессе управления экономической системой механизм принятия решений включается лишь в тех случаях, когда внутри экономической системы возникает проблемная ситуация, которая определяется как нестабильная и которую необходимо скорректировать, т. е. разрешить ситуацию. Тем самым в процессе выработки решений производится корректировка существующей ситуации под ту, которая была запланирована ранее и характеризовала нормальное развитие системы.

В общем случае в процессе принятия решения можно выделить 3 основных этапа (стадии):

- постановка задачи принятия решений;
- формирование вариантов решений;
- выбор эффективного варианта решения.

На *этапе постановки задачи* определяются основные параметры проблемной ситуации и характеристики¹, требуемые для ее разрешения:

- сама проблемная ситуация S_0 (ее содержание);
- время T_s в течение которого необходимо устранить проблемную ситуацию;
- ресурсы R_s , требуемые на устранение проблемной ситуации.

При формировании S_0 ПС описывается содержательно с привлечением качественных и, если это возможно, количественных данных, выполняется ее анализ и структуризация (если позволяют необходимая информация и уровень знаний ЛПР). Определяются время и ресурсы для разрешения проблемной ситуации.

Если задача решается в условиях вероятностной определенности или полной неопределенности, то может возникнуть необходимость в формировании множества гипотез S (альтернативных ситуаций) развития проблемной ситуации $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, определяющих возможные направления развития исходной ситуации S_0 в зависимости от действия тех или иных влияющих факторов. Это могут быть предположения о действиях партнеров, контрдействиях конкурентов, причинах сбоев (отказов) техники, изменениях политической или

¹Афоничкин А. И. Принятие управленческих решений в экономических системах; Афоничкин А. И., Матвеев А. А., Макаркин Н. П., Сажин Ю. В. Системы поддержки в теории и практике оценки управленческих решений.

экономической ситуации в стратегической зоне хозяйствования экономической системы и др.

На этапе *формирования решения* выполняется *целеполагание*, т. е. определение множества целей $A = (A_1, A_2, \dots, A_p)$, которых необходимо достичь при решении проблемы.

Для получения данного комплекса целей часто используют процедуры системного анализа, в частности процедуру структуризации целей, на основании которой можно получить либо простую совокупность целей, либо дерево структуры целей с обоснованием системы их взаимоотношений. Цели структурируют, используя процедуру декомпозиции главной цели. При выявлении системы целей необходимо по возможности оценивать степень их важности, последовательность достижения, ресурсы достижения. При этом для анализа ресурсного обеспечения решения проблемной ситуации необходимо сформировать систему ограничений на ресурсные параметры процесса принятия решений, такие, например, как материальные ресурсы, финансовые, временные, кадровые и др.

После определения базовых параметров процесса принятия решения A и B генерируется множество альтернативных вариантов решения:

$$Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_2),$$

для которых необходимо сформировать функцию полезности Q , задающей количественную оценку вариантов:

$$[Q(Y_1), Q(Y_2), \dots, Q(Y_2)].$$

Данные оценки используются для последующего сравнения сформулированных альтернативных решений на базе направлений их развития, существующих ограничений, точности описания содержания проблемы и последующего выбора наилучшего, т. е.

$$Q(Y_i) = Q(S_j, A_p, B_p, T_{sj}).$$

Тогда содержание задачи ПР можно отразить схемой, представленной на рис. 2.1.

На *этапе выбора решений* на базе полученных оценок формируется система предпочтений P , которая позволяет провести процесс выбора альтернативы:

$$P = Q(Y_i) \xrightarrow{K_j} F_n,$$

где $K_j = K(A_j)$ — критерий достижения цели A_j .

Если целей несколько, то процедура повторяется по каждому критерию из множества критериев $K = (K_1, K_2, \dots, K_m)$. Предпочтения, сформулированные по выделенным критериям, позволяют упорядочить альтернативные варианты с точки зрения достижимости целей.

Если удастся определить интегральный критерий K , на основании которого можно упорядочить предпочтения с учетом всех рассматриваемых гипотез

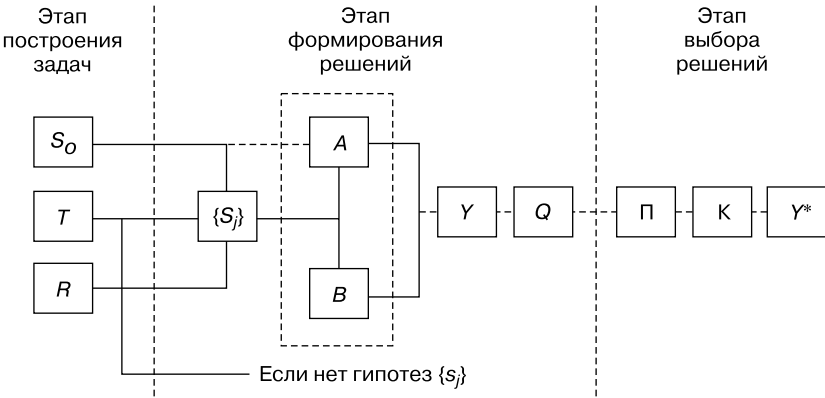


Рис. 2.1. Обобщенная схема решения задачи принятия решения одним ЛПР

о проблемной ситуации, то получаем вектор $Q(Y)|_k$, на основании которого можно выбрать предпочтительное решение Y^* .

При работе группового ЛПР (экспертной группы) в схему вводится дополнительная процедура (Π) — согласование предпочтений членов экспертной группы после того, как они выразили свои индивидуальные предпочтения $Q_i(Y)|_k$. Тогда схема решения задач принятия решений для группового ЛПР примет вид, показанный на рис. 2.2.

Таким образом, в формировании и выборе решений участвует набор элементов процедуры принятия решений, для которых необходим процесс согласования по каждому этапу.

Рассмотрим задачу принятия решений на примере простой однокритериальной задачи, решаемой индивидуальным ЛПР. Если задача однокритериальная,

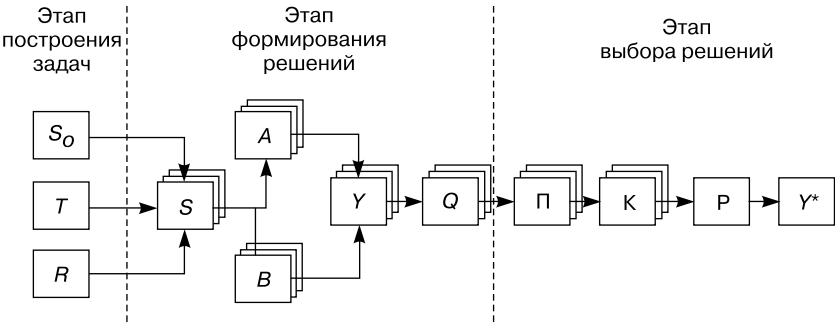


Рис. 2.2. Развернутая схема решения задачи принятия решения при групповом ЛПР

то процедура выбора при наличии всей необходимой информации достаточна проста — все альтернативные решения ранжируются по этому единственному критерию. Если же имеется несколько критериев, на основании которых необходимо формировать выбор, то задача усложняется даже при известной (определенной) информации о ПС. В этом случае дополнительно необходимо сформировать принципы Π_p многокритериального выбора таким образом, чтобы можно было устранить зависимости критериев от цели:

$$\Pi_p : F(f(Y_p, S_o, A_k)) = f(Y_p, A_k).$$

Таким образом, для каждой цели A мы можем построить для решения проблемы S_o некоторую функцию предпочтения P , на основании которой можно упорядочить (ранжировать) решения Y с точки зрения возможности достижения всех целей:

$$P \rightarrow S_j : R_e \mid P(Y_i) \rightarrow (S_j > S_m) \rightarrow (P(Y_i) > P(Y_m))$$

для z -го критерия множества критериев K ($z \in K$).

Другим способом снятия зависимости, является метод, при котором множество критериев свертываются в интегральный вектор предпочтений:

$$K : F(f(Y_p, S_j)) = f(Y_j).$$

На основании такого интегрального критерия $K = f(Y_i)$ также можно найти предпочтительное решение Y^* .

Таким образом, данная задача принятия решений может быть записана в виде следующей схемы



где S_o — проблемная ситуация; T — время на принятие решений; R — ресурсы, потребные для принятия и реализации решения; S — множество альтернативных ситуаций, доопределяющих S_o ; A — цель решения задачи; B — ограничения на решение задачи; Y — альтернативы; f — функция предпочтения (возможна связь типа $f = F(A, S, Y)$); K — критерий выбора $K = \phi(A)$; Y^* — оптимальное решение.

Таким образом, задача принятия решений для однокритериальной задачи $K = 1$ будет описываться следующими параметрами:

$$\langle S_0, T, i | S, A, B, Y, f, K, Y^* \rangle \quad (2.1)$$

известные параметры задачи;

параметры, которые необходимо определить.

В приведенной модели (2.1) слева от вертикальной черты расположены исходные данные, на базе которых строится модель принятия решений, справа — промежуточные и результативные данные, которые необходимо определить в процессе решения задачи. Функция предпочтения $f(A, S_0, Y)$ может задаваться как в абсолютных, так и в относительных единицах. Абсолютная оценка на практике может быть задана лишь в редких случаях, когда известна количественная информация о параметрах и критериях выбора, измеренных в показателях исследуемого процесса (цена, объем производства, уровень рентабельности и пр.), относительная — в подавляющем большинстве реальных задач принятия решения. Такая оценка может быть либо качественной (тогда все альтернативные варианты решения Y упорядочиваются по убыванию предпочтений), либо количественной (тогда производится сравнение, во сколько раз (на сколько %) одно решение лучше или хуже другого). Выбор оптимального (наилучшего, рационального) решения Y^* производится по критерию K , сформулированному ЛПР.

Приведенная выше формальная модель может быть интерпретирована следующим образом. Проблемная ситуация S_0 описывается содержательно и по возможности включает количественные характеристики данного состояния. Необходимо описать условия, причины возникновения и развитие S_0 . Значение T существенно влияет на процесс принятия решения, так как возможно изучение дополнительной информации о состоянии проблемной ситуации (S_0) и ее подробного исследования. Если нет определенности в развитии S_0 , то возможно задание множества гипотез $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_m)$, которые доопределяют текущую проблему и являются взаимоисключающими. Такое дополнение проблемной ситуации необходимо в условиях неполной информации о ПС, если затраты на информационное доопределение оправдываются результатами. Элементы множества S представляют собой взаимоисключающие (альтернативные) варианты возможного развития проблемы. Для каждой S_i желательно сопоставить некоторую вероятность ее появления $P(S_i)$.

Для выявления и обоснования желаемого целевого состояния экономической системы S_c , в которое необходимо ее перевести, формулируют некоторое множество целей $(A_1, A_2, \dots, A_k) = A$. Описание целей также должно происходить на содержательном уровне с возможными количественными характеристиками. В этой совокупности характеристик должны быть некоторые параметры, которые определяют так называемые критерии достижения цели, показатели степени достижения цели и их приоритеты.

Принятие конкретных решений всегда осуществляется в условиях ограничений на R (ресурсы). Поэтому необходимо сформулировать систему ограничений $B = (B_1, B_2, \dots, B_m)$, которые учитываются при принятии решений.

Для достижения целей A формируется множество альтернативных вариантов решения $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$, из которых должно быть выбрано оптимальное (или приемлемое) решение Y^* . Решения можно описать содержательно, формализованно или в смешанном виде.

Функция $f = F(A, S, Y)$ — специально введенная функция, отражающая предпочтение вариантов, целей и т. п. и используемая для описания оценки решений по достижению целей в условиях возможных ситуаций. Оценка решения может быть выражена либо в абсолютных, либо в относительных единицах. Обычно оценка параметров элементов ПС может быть выражена в шкале отношений в следующем виде:

- в качественном, когда альтернативы упорядочиваются по предпочтению (хуже, лучше);
- в количественном, когда можно сравнивать по абсолютному значению критериального показателя, на сколько (во сколько) одно решение лучше другого.

Выбор же наилучшего решения Y^* производится по одному или нескольким критериям выбора K .

Краткая формулировка процесса принятия решений. В целях разрешения проблемной ситуации S_0 в условиях имеющихся фонда времени T и ресурсов R необходимо:

- доопределить ПС S_0 множеством альтернативных ситуаций S ;
- сформулировать множество целей A преобразования ПС, ограничений B , альтернативных вариантов Y ;
- произвести оценку предпочтений альтернативных решений.

На основании полученных оценок необходимо найти оптимальное (эффективное) решение Y^* из множества Y , руководствуясь критерием (системой критериев) выбора K .

Если ЛПР представляет собой некоторую группу экспертов, то доопределяются функция группового предпочтения P и принцип согласования экспертных оценок решения. При этом групповая функция предпочтения строится на базе выбранного принципа согласования.

Рассматривая процесс выбора наилучшего решения из множества сформированных альтернатив, необходимо отметить, что сама процедура выбора представляет собой итеративный процесс, включающий несколько этапов. При этом происходит поэтапное сужение сгенерированного в процессе формирования решений числа альтернатив $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ и в конце процедуры анализа и оценки альтернатив осуществляется выбор наилучшей альтернативы Y^* , принимаемой в качестве решения задачи.

Непосредственный выбор оптимального решения из множества $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ — достаточно трудная задача, поэтому используются формальные и содержательные методы последовательного сужения множества альтернативных решений до нескольких, удовлетворяющих ограничениям на задачу.

На первой стадии множество $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ анализируется с точки зрения удовлетворения имеющимся ресурсным и временным ограничениям с особым анализом при наличии неструктурированных задач. Тем самым из множества возможных вариантов решений формируется множество допустимых решений $Y_d \subseteq Y$.

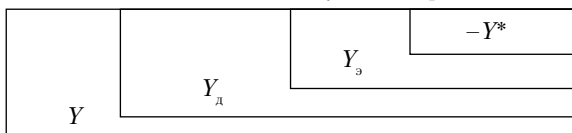
На следующей стадии из множества допустимых решений Y_d выделяется множество эффективных решений $Y_e, Y_e \subseteq Y_d, Y_e \in Y$.

На третьем этапе уже из множества эффективных Y_e выделяется единственное решение Y^* — наилучшее, которое является наиболее предпочтительным решением из множества Y_e .

Таким образом, процедура выбора есть последовательная цепочка выделения управленческих решений различного класса:

$$Y^* \subseteq Y_e \subseteq Y_d \subseteq Y.$$

Схематически это можно определить в виде следующего графика, показывающего последовательное отсеечение ненужных вариантов.



Множество эффективных решений Y_e представляет собой множество недоминируемых решений (такое множество недоминируемых решений образуют так называемое множество Парето). Все эффективные решения несравнимы между собой: одно — лучше с точки зрения критерия k_j , а другое — с точки зрения k_j и т. д. Множество Y_e может состоять как из одного элемента (решения, оно как раз и будет оптимальным), а может включать все допустимые решения. Выбор наилучшего решения из Y_e проводится либо с помощью неформального анализа, либо с использованием интегрального критерия, либо на основании метода группового выбора.

Рассмотрим кратко возможные методы, которые могут быть использованы при формировании процедуры выбора.

Технология решения задач выбора предполагает тщательный анализ и декомпозицию целей принятия решений. Структуризация целей производится так, что общие системные цели конкретизируются с учетом специфики возникшей проблемной ситуации. Однако иерархия целей не должна разрастаться, так как это затрудняет анализ альтернативных решений. Если возникает необходимость в определении веса достигаемых целей, то используется процедура измерения относительной важности каждой цели или подцели из группы целевых состояний. Относительная важность цели определяет субъективные предпочтения ЛПР и осуществляется на основе его индивидуальной системы мотивации.

При этом используются специальные методы измерения и анализа характеристик проблемной ситуации:

- ранжирование целей;
- парное сравнение;
- непосредственная (аналитическая) оценка;
- последовательное сравнение.

Опыт показывает, что при небольшом числе целей, если возможно измерить характеристики по количественной шкале, удобно использовать метод аналитической оценки.

А наиболее удобной и универсальной является методология ранжирования объектов (целей), которая переводит качественные приоритеты целей в количественно измеренную шкалу. Результат формулируется в виде матрицы парных сравнений. Подробный анализ методов измерения будет дан далее.

Задавая некоторым образом степень важности цели в виде его некоторой относительной величины, коэффициент относительной важности можно интерпретировать как относительное число «голосов», не поданных остальными объектами против данной, и формально представить в виде:

$$\beta_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij};$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } x_{ij} = r_i \leq r_j; \\ 0, & \text{если } x_{ij} = r_i > r_j, \end{cases}$$

где β_i — ранг i -цели.

Неправильно или неточно сформулированные или «взвешенные» по важности цели неизбежно ведут к ошибочным решениям.

При осуществлении процедуры выбора иногда необходимо переходить от понятия «цель решения (выбора)» к такой категории, как «критерий выбора». Понятие «критерий выбора» возникает в задаче принятия решения в том случае, когда необходимо либо формализовать цель, либо определить количественные аспекты (уровень) достижения данной цели, либо уточнить цель, указывая несколько ее аспектов реализации.

Таким образом, критерии выбора обеспечивают анализ достижения поставленных целей экономической системой и дают возможность оценить эффективность достижения цели через степень интенсивности свойства цели. В качестве таких целевых критериев выбирают специальные экономические, финансовые, маркетинговые показатели, которые обеспечивают выявление предпочтений среди сформулированных по задаче выбора альтернативных решений. С помощью таких критериев можно не только оценить сами решения, но и последствия их развития во времени. Тем самым критерии служат оценкой возможных исходов, причем и сама структура критерия, и его соответствие протекаемым в экономических системах процессам характеризуют качество процедуры принятия решения, т. е. эффективность управления¹.

¹ Дорохов А. А. Теория принятия оперативных решений.

В теории управления обычно выделяют два вида критериев эффективности:

- критерии достижения цели;
- критерии изменения состояния системы (достижение промежуточной цели).

Первый тип критериев характеризует расстояние между текущим состоянием экономической системы и целевой областью, описанными в пространстве исходов. Второй тип критериев характеризует способ изменения состояния системы. Он дает возможность оценить каждый из способов изменения состояния системы и определить наилучшую траекторию из текущего состояния в целевое.

При определении и задании критерия выбора следует учитывать следующие требования:

- 1) соответствие смыслу поставленной задачи;
- 2) полноту достижения поставленной задачи;
- 3) критичность (чувствительность к возможным изменениям параметров модели);
- 4) содержательность (адекватность «физическому» смыслу происходящих процессов);
- 5) измеримость (обеспечение количественного описания предпочтений ЛППР или хотя бы ранжирование).

В связи с наличием достаточно сложных процессов, протекающих в экономических системах, весьма трудно сформулировать какой-либо один критерий, описывающий глобальную цель системы. В этом случае производят декомпозицию цели и формирование некоторой системы критериев. Тем самым происходит переход в область многокритериальных задач выбора. Полученная при этом система критериев естественно должна удовлетворять требованиям (1–5) и некоторым общесистемным условиям:

- а) полноты (четкая характеристика степени достижения глобальной цели);
- б) минимальности (минимальный набор независимых локальных критериев);
- в) операционности (четкость и однозначность описания проблемы);
- г) разложимости (возможность проведения декомпозиции).

Обычно критерии представляются в виде некоторой критериальной функции f , заданной на множестве объектов $\{X\}$. Как правило, выбираются такие функции, для которых большее значение критерия (функции) f_j предпочтительнее меньшего f_k , т. е. $f_j \succ f_k$ — объект j (определяется функцией f_j) предпочтительнее объекта k (определяется функцией f_k), где отношение $\succ$ есть отношение предпочтения или, если говорить о количественной шкале $f_j \geq f_k$, — значение f_j (характеризующей объект j) не менее значения f_k (характеризующей объект k):

$$(f_j \succ f_k) \rightarrow (f(x_j) \geq f(x_k)), x \in X.$$

Критерии f могут быть как числовыми, так и нечисловыми. При этом для перевода нечисловых критериев в область численного анализа существуют специальные методы преобразования. То есть объекты можно охарактеризовать некоторым значением критерия и множество возможных значений критерия называется шкалой.

Более подробно рассмотрим методы формирования шкал и проведения оценки характеристик и элементов проблемной ситуации в следующих разделах.

2.2. Классификация задач принятия решений

Задачи принятия управленческих решений группируются в зависимости от набора некоторых классификационных признаков. Задача классификации позволяет выделить для группы однородных задач наиболее эффективные методы их решения, в частности оптимальные методы принятия решений в различных управленческих и производственных задачах¹.

Сама процедура классификации сводится к ограничению выбора для конкретной задачи. Для этого используется ряд классификационных признаков. Существует несколько различных подходов к классификации задач ПР, использующих различный набор классификационных признаков. Однако большинство из них опираются на следующие группировочные факторы:

- характер субъекта (ЛПР);
- содержание ЗПР;
- количество целей;
- влияние времени;
- значимость решений и др.

В свою очередь, каждый из классификационных признаков включает несколько вложенных параметров кластеризации задач ПР.

Можно привести следующую обобщенную схему классификации задач принятия решения, представленную в табл. 2.1.

Рассмотрим подробнее представленные признаки группировки задач.

1. Признак *характер субъекта принятия решений* описывает степень его информированности о ПС экономической системы и конкретном *типе лица, принимающего решение*.

1.1. По *степени информированности лица, принимающего решения* о состоянии экономической системы и развитии ПС, задачи ПР разбиваются на:

1.1.1. Задачи, решаемые в *условиях полной определенности*, когда известны все составляющие и характеристики ПС. Здесь понятие определенности характеризуется полнотой и достоверностью информации для принятия решений. В таких задачах нет необходимости доопределять исходную ситуацию S_0 .

¹ Алдокин И. П., Бубенко И. В. Теория принятия решений; Афоничкин А. И., Принятие управленческих решений в экономических системах; Дорохов А. А. Теория принятия оперативных решений.

Таблица 2.1. Обобщенная схема классификации задач принятия решения

Классификационные характеристики задач принятия решений	1. Характер субъекта, решающего ЗПР	1.1. Степень информированности ЛПР 1.2. Тип ЛПР 1.3. Количество ЛПР
	2. Количество целей	2.1. Одна 2.2. Несколько
	3. Влияние времени	3.1. Влияет 3.2. Не влияет
	4. Степень структуризации	4.1. Структурированные задачи 4.2. Слабоструктурированные 4.3. Неструктурированные
	5. Используемая информация	5.1. Априорная 5.2. Апостериорная
	6. Характер решаемых задач	6.1. Перспективные (стратегические) 6.2. Текущие (тактические) 6.3. Оперативные (регулирующие)
	7. Жизненный цикл проблемы	7.1. Диагностические 7.2. Перспективные 7.3. Текущие 7.4. Прогнозные
	8. Степень охвата функций	8.1. Общие 8.2. Локальные 8.3. Тематические

гипотетическими ситуациями ($S_1, S_2, \dots, S_n$). Цели и ограничения определяются в виде целевых функций и неравенств.

Функция предпочтения обычно совпадает с целевой функцией f , т. е. $\Pi = f$, если цель одна. Если целей несколько, то f функционально зависима от целевых функций. Возможно построение формальной математической модели метода оптимизации (множество программ, динамика программ и пр.). К таким определенным задачам относятся задачи размещения ресурсов, назначения работ, управления запасами, транспортные и др.

1.1.2. Задачи, решаемые в *условиях вероятностной определенности* (в условиях риска). Обычно это стохастические задачи, когда известны лишь статистические данные о факторах, влияющих на выработку решений. Решение таких задач формируется на базе теории статистических решений. Здесь некоторая полнота учитывается вероятными характеристиками некоторых событий. Обобщенным критерием оптимального решения является средний риск, поэтому такие задачи называются задачами ПР в условиях риска для простейших случаев технических и экономических систем.

1.1.3. Задачи, решаемые в *условиях неопределенности*, когда отсутствует полная информация о факторах и характеристиках ПС или информация характеризует ситуацию с некоторой степенью нечеткости, размытости. Наиболее типичны для задач управления в экономических системах. Характерны значительная неполнота и низкое качество информации, малая достоверность,

сложные взаимосвязи факторов. Основную роль в принятии решений играют не формальные методы, а ЛПР, работающее в связке с системой поддержки принятия решений.

1.1.4. Задачи, решаемые в условиях *стратегической неопределенности* с активным противодействием (со стороны внешней среды или внутренней структуры экономической системы) эффективной выработке решений. То есть в таких задачах необходимо учитывать влияние на исход решения лиц, преследующих противоположные общесистемным или неизвестные цели.

1.2. По *типу ЛПР*, участвующего в решении задачи, различают:

1.2.1. *Осторожный тип ЛПР*, который нацелен получать решения хотя и не приносящие большой выгоды, но не дающие сильного ущерба при их неудачных воздействиях. Такая стратегия называется также стратегией гарантированного результата, или осторожной (пессимистической) стратегией выбора.

1.2.2. *Решительный тип ЛПР*, который надеется на положительное развитие событий при принятии решений и ориентируется на получение максимальной выгоды, не учитывая возможные потери при неблагоприятных ситуациях. Хотя потери также могут быть весьма значительными. Такой тип ЛПР относится к группе ЛПР-оптимистов и реализует стратегию выбора при решении задачи, ориентированную на получение максимально возможной выгоды, т. е. оптимистическую стратегию.

1.2.3. *Комбинированный тип ЛПР*, нацеленный не на приведенные выше крайние варианты развития события, а на их промежуточный вариант. При этом выгоды будут не столь значительны, как при оптимистической стратегии выбора, но и потери, при неблагоприятных событиях, также прогнозируются в разумных пределах.

1.3. По *количеству лиц, принимающих решение*, выделяют следующие задачи:

1.3.1. Задачи *индивидуального выбора*, когда решения формирует и принимает отдельный субъект (руководитель, главный специалист или другой человек), наделенный полномочиями и ресурсами для принятия решений в соответствующей сфере и на соответствующем этапе процесса управления.

1.3.2. Задачи *группового выбора*, когда в решении задачи участвуют несколько экспертов, образующих группу лиц (групповое ЛПР). Задачи такого типа называются экспертными, или групповыми, задачами и характеризуются дополнительными параметрами, учитывающими процедуры взаимодействия лиц при решении групповой задачи. В качестве группового ЛПР может быть группа менеджеров или консультантов-специалистов по конкретным решаемым проблемам.

2. По *степени использования данных, полученных в результате эксперимента* для принятия решений, задачи могут быть сгруппированы в виде:

2.1. Задач, решаемых на основе априорных данных.

2.2. Задач, решаемых на основе апостериорных данных.

Задачи первого типа характерны для вполне *определенных* проблемных ситуаций, так как для их решения используется достоверная (априорная), точная, заранее известная информация.

В условиях неопределенности априорной информации недостаточно, так как ее количество слишком мало. Поэтому для пополнения информационного фонда с целью доопределения исходной ситуации необходимо проведение эксперимента, который дает апостериорную информацию. Для управления процессом получения апостериорной информации используют методы планирования и управления экспериментами.

3. По количеству целей, стоящих перед ЛПР при решении задачи ПР, они разбиваются на:

3.1. *Однокритериальные задачи* (скалярные задачи), в которых сформулирована только одна цель (критерий), относительно которой решается задача.

3.2. *Многокритериальные задачи* (векторные), в которых в качестве цели решения выступает несколько критериев $K \subset \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$, достижение которых для эффективного решения задачи должно быть одновременным. Сама же задача характеризуется несколькими альтернативами $Y = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$. Такого рода задачи обычно описываются матрицей. Математическая интерпретация многокритериальной задачи состоит в том, что объекты отображаются точкой в критериальном пространстве $\{K_1, K_2, \dots, K_m\}$.

Задачи, для которых значения критериев изменяются дискретно, называются дискретными задачами принятия решений. Если значения критериев изменяются непрерывно, то задача относится к задаче векторной оптимизации. При этом графическая интерпретация такой задачи представляется в виде некоторой области в пространстве критериев. В зависимости от требуемого решения многокритериальные задачи можно разделить на следующие классы:

- задачи выбора (выделение наиболее предпочтительного объекта);
- задачи оценивания (оценка объекта по интегральному критерию);
- задачи определения Парето-оптимальных решений.

Для решения задач, относящихся к различным классам, требуются соответствующие методы решения.

4. По степени воздействия на решение задачи фактора времени они разбиваются на:

4.1. *Статические задачи*, в которых время принятия решения не играет большой роли.

4.2. *Динамические задачи*, эффективность решения которых зависит от времени, выделяемого (имеющегося) на решение. В свою очередь, динамические задачи можно разделить по длительности воздействия времени на:

- *долгосрочные*, рассчитанные на весь период существования проблемы;
- *среднесрочные*, которые должны осуществиться в недалеком будущем;
- *краткосрочные*, выполняемые в течение короткого периода времени.

5. По степени структуризации элементов проблемной ситуации, выделяют:

5.1. *Хорошо структурированные задачи*, в которых зависимости между факторами определены количественно.

5.2. *Неструктурированные задачи*, в которых невозможно задать количественные зависимости между факторами (признаками) в описании задачи.

5.3. *Слабоструктурированные*, т. е. смешанные, задачи с количественными и качественно определенными признаками.

Под *структурированными задачами* здесь будем понимать задачи принятия решений, обладающие следующими свойствами:

- переменные определены в виде скалярного или векторного числовых значений;
- цели определяются единственной, четко выраженной целевой функцией;
- можно построить четкий алгоритм решения.

На практике руководителю высшего уровня управления почти всегда приходится иметь дело со слабоструктурированными или неструктурированными задачами принятия решений, которые возникают при управлении стратегическими процессами в экономических системах.

2.3. Классификация управленческих решений

В процессе управления экономическими системами проводится решение комплекса различных задач, требующих решения, и принимается огромное количество самых разнообразных решений, обладающих различными характеристиками. Каждое решение представляет собой процесс воздействия на объект управления и характеризуется как управленческое воздействие. Существует тесная связь между задачей принятия решения и тем видом воздействия, которое необходимо сформулировать при ее эффективном решении. В управленческой деятельности различают множество разновидностей таких воздействий. Тем не менее существуют некоторые общие признаки, позволяющие это множество определенным образом классифицировать.

Управленческие решения представляют собой результат управленческой деятельности и предполагают конкретную альтернативу разрешения проблемной ситуации. Управленческие решения также классифицируют по различным группировочным признакам.

В литературе классификации управленческих решений строятся по самым разным группировочным основаниям¹; так, например, в некоторых учитывается содержание задачи, в других — тип ЛПР, в третьих — необходимая информация и пр. В общем виде можно выделить меру вклада ЛПР в организационные

¹ *Афоничкин А.И.*, Принятие управленческих решений в экономических системах; *Эддоус М., Стенсфилд Р.* Методы принятия решений / Пер с англ. под ред Н. И. Елисевой. — М.: Банки и биржи. 2001; *Фатхутдинов Р. А.* Управленческие решения: Учебник. 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Инфра-М, 2001; Методы принятия решений / Под ред. Е. Г. Панченко; *Панченко Е. Г.* Теория принятия управленческих решений. — Киев: КГУ. 1980. 120 с.; Теория выбора и принятия решений: Учеб. пособие / Под ред. И. М. Макарова. — М.: Наука, 1982. 328 с.

преобразования, в силу которых, например, управленческие решения в организации могут быть разделены на:

- жестко обусловленные (детерминированные);
- слабо зависящие от субъекта решения.

К первым обычно относят либо так называемые стандартизированные решения (обусловленные принятыми выше предписаниями и распоряжениями), либо вторично обусловленные распоряжением вышестоящей организации. Этот тип решений практически не зависит от качеств и ориентации ЛПР.

Другой тип решений — так называемые инициативные решения, где качества руководителя накладывают серьезный отпечаток на характер принимаемых решений. К ним относятся решения, связанные как с локальными изменениями в организации (поощрение, наказание), так и с изменением механизмов, структуры, целей организации.

Инициативное решение обычно рассматривают как выбор альтернативного поведения из нескольких возможных, каждое из которых влечет за собой ряд позитивных и негативных последствий. В числе факторов, влияющих на качество решений, отмечают компетентность персонала, деловые и личные качества ЛПР, его ролевые (должностную, функциональную, групповую, гражданскую, семейную) позиции.

Сами управленческие решения, которые вырабатываются в экономических системах, направленные на устранение проблемной ситуации, могут быть сгруппированы с наиболее общих позиций следующим образом¹ (рис. 2.3):

- управленческие решения, направленные на изменение *скорости* процессов и явлений, происходящих в экономических системах;
- управленческие решения, направленные на изменение *направления* процессов и явлений, происходящих в экономических системах;
- управленческие решения, направленные на изменение *содержания* процессов и явлений, происходящих в экономических системах.

Управленческие решения **первого** типа обычно вызываются нарушениями взаимодействия элементов экономической системы из-за сбоя хода управле-



Рис. 2.3. Типы управленческих решений

¹ Методы принятия решений / Под ред. Е. Г. Панченко; *Панченко Е. Г.* Теория принятия управленческих решений; Теория выбора и принятия решений / Под ред. И. М. Макарова.

мого процесса или диспропорции ресурсов. В частности, это могут быть решения, направленные на уменьшение времени ремонта, повышение оперативности предоставления отдельных данных и др.

Решения **второго** типа формируются в связи с дисбалансом целей или нарушением взаимодействия элементов экономической системы, находящихся на разных уровнях иерархии или элементов одной коалиции (т. е. происходит расхождение целей в структуре системы связей типа: элемент–элемент одной коалиции, элемент–элемент разных уровней, элемент–система). Примером таких решений могут быть решения, направленные на изменение некоторых количественных параметров процессов, а также введение в рассмотрение некоторых новых факторов, значение которых необходимо учесть.

Решения **третьего** типа характеризуются невозможностью разрешения проблемной ситуации в существующих условиях из-за случившегося дисбаланса содержания фактического и планируемого состояний. Требуется изменение содержания протекающих процессов, адаптация их к конкретным условиям. При этом необходима новая информация для проведения анализа ситуации и выработки эффективного решения.

Такие решения вызываются в основном уровневым несоответствием проблемы и условиями ее разрешения. К решениям такого типа можно отнести изменение стратегии фирмы в области инвестиций, в области производства продукции и др. Данная классификация представлена в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Классификация управленческих решений

Класс проблемы	Условия, вызывающие проблему	Способ решения
Диспропорция ресурсов (объект)	Диспропорция мощностей звеньев технологического процесса	Баланс ресурсов, усиление мощности элементов
Структурная диспропорция (дисбаланс цели)	Деструктурированность условий достижения главной цели	Согласование целей уровней управления для достижения главной цели
Информационная диспропорция (дисбаланс содержания)	Несоответствие имеющихся и требуемых знаний о проблеме и ее разрешении	Структурирование ПС, реорганизация структуры управления

Как видно, решения можно классифицировать, руководствуясь различными классификационными признаками, требуемыми для определения и уточнения типа задачи (решаемой в конкретной ситуации) и управленческого воздействия.

Так, например, в работе Е. П. Голубкова¹ решения классифицируют по содержанию, разделяя их на политические, социальные, экономические, организационные, технические и т. д.; по срокам действия и степени воздействия на будущие решения — оперативные, тактические, стратегические; по виду лица,

¹ Голубков Е. П. Технология принятия управленческих решений. — М.: Дело и сервис, 2005. 544 с.

принимающего решение, — индивидуальные и коллективные (организационные); по степени уникальности — рутинные, нетворческие и уникальные, творческие; по степени неопределенности (полноты информации) — решения в условиях определенности, в условиях риска (вероятностной определенности) и в условиях неопределенности.

Следует отметить, что, выдвигая все новые и новые критерии, можно выделить массу видов решений, но мы останавливаемся на том, что вид решения (а если быть еще точнее, то технология его принятия) напрямую зависит от рода проблемы и ситуации, в которой она возникла. Под ситуацией понимается сочетание условий и обстоятельств, создающих определенную обстановку (внешнюю среду), в которой возникла проблема. То есть с точки зрения технологии принятия решения нам необходимо классифицировать проблему, с которой сталкивается организация, и тогда круг выбора решений сузится.

При существующем в настоящее время разнообразии процедур и моделей принятия решений возможны различные классификации. Приведем критерии классификации, предложенной в работе А. В. Шегда¹.

1. Важность проблемы для организации. Важная проблема требует больше четкости, организованности в подготовке принятию решения, создания эффективного контроля, согласованности между подразделениями, участвующими в решении.

2. Временной аспект решения проблемы. Решение для срочной проблемы, как правило, принимается в условиях большей неопределенности по сравнению с тем случаем, когда проблема не требует быстрого решения и целесообразно накопить необходимую информацию для принятия наилучшего решения.

3. Предварительная оценка эффективности решения проблемы. Если изначально известно, что эффект будет незначителен, то целесообразно делать большие затраты на поиск информации, оценку возможных решений, поскольку большого проигрыша не будет даже при не самом лучшем решении. В случае ожидаемого значительного эффекта процедуру принятия решений необходимо продумывать особенно тщательно.

4. Условия принятия решений, определяемые состоянием внешней и внутренней среды: определенность, риск, неопределенность и противодействие.

5. Характер (уровень) принятия решений: индивидуальный или коллективный (организационный). Решение, принимаемое на индивидуальном уровне, характеризуется наличием индивидуального умения, стиля, взятием риска на себя. Очень важен процесс принятия решения как такового. Организационное решение характеризуется созданием соответствующей среды, важностью принятия решения к определенному моменту, вовлечением всех уровней в управление, необходимостью управления групповым процессом.

6. Характер модели проблемной ситуации: точная или приближенная. Как правило, проблемная ситуация описывается приближенной моделью, достаточно простой, чтобы ею можно было воспользоваться. В случае важных

¹ Шегда А. В. Менеджмент: Учебник. — Киев: Знання, 2006.

проблем (или когда решение дает заведомо большой эффект) необходимо довольно точно описать ситуацию. Найденное оптимальное решение должно быть наилучшим для некоторой идеализированной проблемы, выраженной в модели. Часто бывает целесообразнее найти рациональное, хотя и не всегда наилучшее, решение для реальной проблемной ситуации, чем тратить усилия на поиск оптимальных решений для неразрешимых проблем.

7. Уровень формализации процесса принятия решения. При принятии решений немаловажную роль играют такие неподдающиеся формализации факторы, как компетентность, объективность, авторитетность источника информации, психологическое состояние, влияние традиций, моральные нормы.

8. Кратность принятия решения: однократная или многократная процедура. Однократные решения, как правило, проявляются на длительном отрезке времени и вызывают большие последствия. Очень часто комплексные задачи являются задачами принятия однократных решений. Многократные решения, в свою очередь, делятся на периодические и непериодические.

9. Вид принимаемых решений: запрограммированные и незапрограммированные. Для повторяющихся или однотипных проблемных ситуаций, как правило, разрабатываются стандартные правила, инструкции.

Для классификации проблем и связанных с ними решений принципиальное значение имеет их отнесение к стандартным (рутинным) проблемам, которым соответствуют запрограммированные решения, и нестандартным (творческим) проблемам, которым отвечают решения незапрограммированные.

К запрограммированным относятся такие решения, которые уже известны из прошлого опыта (или известен четкий алгоритм их получения) и сразу же применяются или рассчитываются по заданному алгоритму при возникновении стандартных проблем. Выработка незапрограммированных решений требует новой информации, поиска ее нестандартных комбинаций, разработки и оценки ранее неизвестных альтернатив и т. п.

Отнесение проблемы к тому или иному классу ее решений зависит от того, какова степень влияния неопределенности на эти ее элементы. Если проблема настолько ясна, что известны не только ее цели, альтернативы, затраты, критерии, но и само наиболее рациональное решение, то она является стандартной и к ней могут применяться шаблонные правила принятия решений.

Если перечисленные элементы проблемы в основном ясны настолько, что они могут быть описаны не только качественно, но и количественно, но выбор решения из многих вариантов довольно сложен, то его принятие — это предмет исследования экономико-математического моделирования (о чем речь пойдет в разделе 2).

Самой обобщающей классификацией проблем является классификация, предложенная в работе Г. Саймона¹, согласно которой все проблемные ситуации подразделяются на три класса:

¹ Саймон Г. Теория принятия решений в экономической теории и науке о поведении: В кн.: Теория фирмы. — СПб., 1995.

- 1) хорошо структуризованные, или количественно сформулированные, проблемы, в которых существенные зависимости выяснены настолько хорошо, что они могут быть выражены в числах или символах, получающих в конце концов численные оценки;
- 2) неструктуризованные, или качественно выраженные, проблемы, содержащие лишь описание важнейших ресурсов, признаков и характеристик, количественные зависимости между которыми совершенно неизвестны;
- 3) слабоструктуризованные, или смешанные, проблемы, которые содержат как качественные, так и количественные элементы, причем качественные, малоизвестные и неопределенные стороны проблем имеют тенденцию доминировать.

Хотя эта классификация не является устоявшейся и некоторые проблемы могут со временем изменить свою принадлежность к определенному классу, она позволяет понять многое. Прежде всего отметим, что упоминавшиеся выше методы моделирования предназначены для хорошо структуризованных проблем.

Между классами хорошо структуризованных и неструктуризованных находится класс слабоструктуризованных проблем. Согласно принятым определениям, к типичным слабоструктуризованным проблемам относятся проблемы, обладающие следующими особенностями:

- принимаемые решения относятся к будущему;
- имеется широкий диапазон альтернативных решений;
- решение зависит от текущей неполноты технологических достижений;
- применяемые решения требуют больших вложений ресурсов и содержат элементы риска;
- не полностью определены требования, относящиеся к стоимости и времени решения проблемы;
- проблема внутренне сложна вследствие того, что для ее решения необходимо комбинирование различных ресурсов.

Следует подчеркнуть, что между перечисленными классами проблем не существует четкого различия. Многие новые проблемы первоначально выступают как неструктуризованные и слабоструктуризованные, но по мере их анализа превращаются в проблемы хорошо структурированные и даже стандартные (типовые). Каждая организация постоянно имеет дело с различными классами проблем, соотношение которых может различаться в зависимости от объективных условий ее деятельности и других факторов, влияющих на степень неопределенности, с которой она сталкивается. В организации, которая является саморазвивающейся системой, возникают новые потребности, видоизменяются старые требования, появляются новые возможности удовлетворения потребностей, т. е. так или иначе появляются новые проблемы, которые требуют новых творческих решений.

Обобщая существующие виды систематизации, можно предложить различные направления классификации управленческих решений, разделив их

по целому ряду обобщенных признаков, характеризующих различные аспекты процедур принятия решений, например:

- тип решения;
- характер решения;
- соответствие решения жизненному циклу проблемы;
- функциональная направленность;
- степень охвата функции управления;
- цель управленческого воздействия;
- охват цели деятельности;
- область деятельности;
- охват области деятельности;
- иерархия управления;
- функциональная направленность;
- глубина воздействия;
- организационная форма исполнения;
- степень повторяемости;
- степень коллегиальности;
- методы разработки;
- условия разработки.

По *типу решения* их можно сгруппировать по принадлежности к директивным, нормативным или косвенным решениям:

- *директивные* решения принимаются на высшем уровне управления фирмой и являются обязательными для исполнения;
- *нормативные*, принимаемые на всех уровнях управления организацией, оформляются в виде приказов, распоряжений. Они не содержат альтернативы;
- *косвенные решения* имеют стимулирующий характер и способствуют изменениям в работе фирмы с помощью совершенствования инструментального обеспечения управления — экономических, финансовых, правовых, социальных и других рычагов.

По *характеру решения* различаются следующие виды управленческих решений:

- *перспективные* (стратегические), определяющие главные направления развития организации;
- *текущие* (тактические), которые предусматривают достижение более частных целей;
- *оперативные* (регулирующие), направленные на восстановление (изменение) пропорций, устранение отклонений в функционировании организации и отдельных ее частей и т. п.

По *жизненному циклу существования* проблемы можно выделить решения:

- *диагностические*, рассчитанные на решение задач исследования и оценки показателей диагностирующих уровень кризисного состояния предприятия;
- *перспективные*, решающие задачи устранения причин возникновения проблем;
- *текущие*, решающие задачи текущего управления;
- *прогнозные*, решающие задачи прогнозирования развития проблемной ситуации.

По *функции управления* различаются решения:

- *оценочные*, применяемые для оценки и анализа состояния проблемной ситуации;
- *планово-прогнозные*, решающие проблемы формирования рациональных планов деятельности, прогноза развития экономической системы;
- *организационные*, решающие проблемы формирования и выбора конкретной стратегии реализации некоторых действий;
- *контрольные*, решающие проблемы выбора оптимальных методов и приемов контроля экономических процессов.

По *степени охвата функций управления* различаются решения:

- *общие*, охватывающие всю управляемую систему;
- *локальные* — для отдельных подразделений организации (цехов, участков, производств, отделов, служб);
- *функциональные (тематические)*, относящиеся к конкретным функциям управления.

По такому классификационному параметру, как *цель воздействия* управленческого решения, они подразделяются на решения, направленные на:

- выполнение *плана* производства и поставок продукции;
 - обеспечение *качества* продукции;
 - повышение *эффективности* использования ресурсов;
 - *совершенствование* технологического уровня производства;
 - *оздоровление* окружающей среды;
 - *минимизацию* издержек;
 - обеспечение необходимого *уровня прибыли*
- и др.

По *охвату цели* деятельности решения принято подразделять на:

- *одноцелевые*, характеризующиеся наличием одной (из вышеперечисленных или других) цели;
- *многоцелевые*, характеризующиеся необходимостью одновременного достижения нескольких разнородных целей.

По области деятельности можно выделить следующие управленческие решения:

- *технические*, связанные с изменением конструкции изделий;
- *технологические*, связанные с улучшением технологии изготовления продукции;
- *организационные*, связанные с изменением порядка и структуры экономической системы;
- *экономические*, связанные с экономическими аспектами деятельности предприятий;
- *социальные*, охватывающие социальные аспекты деятельности экономического объекта.

По полноте охвата области деятельности решения можно разделить на:

- *комплексные*, или глобальные, охватывающие несколько уровней иерархии в системе, или весь комплекс аспектов, характеризующих экономический объект;
- *частные*, или локальные, обеспечивающие решение отдельных задач или модулей.

По иерархии (уровню) управления, на котором формируются решения, можно выделить следующие группы:

- уровень *руководителя* экономической системы;
- уровень *руководителя экономической подсистемы* (например, завода в структуре производственного объединения);
- уровень *руководителя структурного подразделения*;
- уровень *линейного руководителя* (начальник участка, мастер, бригадир).

Функциональная направленность управленческих решений позволяет выделить:

- *прогнозно-плановые*, ориентированные на формирование прогнозов и проектов планов;
- *организационные*, направленные на совершенствование организации системы;
- *аналитические*, направленные на формирование процедур анализа ситуации;
- *контрольные*, направленные на совершенствование контрольных функций;
- *учетные*, необходимые для совершенствования функций учета деятельности экономической системы;
- *регулирующие*, направленные на совершенствование функций регулирования.

По глубине воздействия на проблемную ситуацию решения можно разделить на:

- *стратегические*, характеризующие глобальные воздействия;

- *тактические*, связанные с выбором и реализацией стратегий формирования решений;
- *оперативные*, связанные с формированием кратковременных воздействий.

По *организационной форме* исполнения управленческие решения можно разбить на следующие группы:

- *строго регламентированные*, определяющие конкретных исполнителей, алгоритмы выполнения задания, методы и сроки реализации, задействованные ресурсы;
- *гибкие*, в которых описывается и конкретизируется только задание на выполнение;
- *ориентирующие*, в которых задается только общее направление деятельности.

По *повторяемости* управленческие решения можно разбить на:

- *постоянные*, повторяющиеся достаточно часто;
- *периодические*, вырабатываемые при периодическом появлении одной и той же проблемной ситуации;
- *разовые*, формируемые индивидуально для нештатных ситуаций, возникающих в экономической системе однократно.

По *степени коллегиальности* при выработке решений их можно разделить на:

- вырабатываемые *единолично* (обычно это решения, которые не затрагивают принципиальных проблем в экономической системе);
- *коллегиальные* (или групповые), требующие наличия группы специалистов в области соответствующей решаемой проблемы или специальной подготовки;
- *коллективные* — решения общего характера, формируемые в основном большим количеством заинтересованных людей (общие собрания, собрания акционеров и др.).

По *методам разработки* управленческих решений они могут быть разбиты на:

- *эвристические*, формируемые на основе большого опыта работы в данной сфере деятельности;
- *формально-математические*, основанные на создании формальной модели варианта решения;
- *интерактивные*, вырабатываемые в результате взаимодействия ЛПР и системы поддержки принятия решений.

По *условиям разработки* управленческих решений их можно разделить на решения, формируемые:

- в условиях полной определенности;
- в условиях риска;
- в условиях неопределенности.

Р. Льюис и Х. Райфа¹ трактуют эти условия формирования управленческих решений следующим образом:

1. Выбор решения в условиях полной определенности предполагает, что результат каждого действия известен.

2. Выбор решения в условиях риска означает, что каждое действие приводит к одному из множества возможных частных исходов. При этом каждый исход имеет известную вероятность появления. Считается, что ЛПР эти вероятности известны.

3. Выбор решения в условиях неопределенности происходит в том случае, когда то или иное действие имеют своим следствием множество возможных частных исходов, но вероятности этих исходов неизвестны.

Характерной особенностью деятельности в сфере управления, особенно в функциональных решениях, например в маркетинге, являются риск и неопределенность. Существуют различные подходы к определению термина «риск». Можно выделить три базовых направления в понимании этого термина:

- риск как вероятность реализации нежелательных последствий или потерь;
- риск как величина возможных потерь;
- риск как комбинация вероятности и размера потерь (например, средняя ожидаемая величина потерь за определенный период времени). При определении и изучении риска необходимо иметь в виду, что он возникает в результате достижения каких либо целевых посылок, т. е. имеет целевой характер. Его возникновение во многом связано с удовлетворением потребностей, что приводит к определенному противоречию между общественными и индивидуальными интересами.

Основными рисками в маркетинговой деятельности можно считать риск производства нового товара, риск выхода на новые рынки, риск изменения окружающей среды, риск разработки комплекса маркетинга и маркетинговой стратегии, коммуникативные риски и т. д.

Совокупность неуправляемых факторов, т. е. не поддающихся влиянию со стороны предприятия (например, правовая база, природно-климатические условия, общая экономическая ситуация в стране и т. п.), порождает информационную неопределенность, в условиях которой и принимаются решения.

Таким образом, приведенная выше классификация управленческих решений позволит более обоснованно выбрать методы разрешения проблемных ситуаций, адекватных разрабатываемым решениям.

В литературе существует классификация управленческих воздействий, учитывающая следующие признаки:

1. Метод переработки информации.
2. Прогнозирующие свойства решения.
3. Масштаб воздействия.

¹ Льюис Р. Д., Райфа Х. Игры и решения: Введение в критический обзор. — М., 1961. 642 с.

4. Содержание решения.
5. Характер решения.
6. Компетенция принятия решения.
7. Способ фиксации решения.
8. Отношение к процессу управления.

Рассмотрим эти признаки.

1. По признаку *метод переработки информации* управленческие решения подразделяют на алгоритмические и эвристические.

Алгоритмические решения базируются на переборе возможных вариантов и их оценке эффективности для выбранных целей.

Эвристические решения предполагают изучение самих принципов, приемов и методологии обобщения и генерации альтернативных решений, применяемых человеком при решении сложных, нетипичных задач. Эти приемы формируются при решении одних задач, а затем могут быть перенесены на решение других задач. Эвристические решения широко распространены среди опытных руководителей, которые оценивают обстановку и выбирают вариант решения, основываясь на интуиции, знаниях, опыте, навыках, полученных в процессе длительной практической работы.

2. Признак *прогнозирующие свойства решений* характеризуют возможности прогнозирования результатов и последствий принимаемого решения, что, в свою очередь, требует или не требует предварительных анализов, исследований, расчетов, прогнозирования, экспериментов, опытов и т. д. По этому признаку управленческие решения подразделяют на:

2.1. *Прогнозируемые*, в которых оцениваются последствия решения в виде возможных вариантов изменения исходной ситуации и оценки степени достижения целевого (запланированного) состояния, а сами результаты могут быть предусмотрены с достаточной степенью надежности и оценены с помощью методов прогнозирования с использованием теории вероятности либо на основе интуиции, предвидения.

2.2. *Непрогнозируемые*, когда приходится иметь дело с множеством независимых переменных или переменными с невыявленными взаимозависимостями, что затрудняет оценку последствия каждого варианта решений.

3. Признак *масштаб воздействия решений* конкретизирует решения общие, функциональные, ресурсные, частные и другие, передаваемые на нижние уровни иерархии структуры управления экономической системы.

Общие решения затрагивают систему в целом. Частные решения касаются текущих вопросов работы подразделений и отделов системы (устранение отдельных недостатков, обеспечение выполнения плана отдельными цехами и т. д.).

4. Признак *содержание решений* отражает основные аспекты деятельности экономической системы — научно-технические, финансовые, экономические, инновационные, организационные, социальные и др.

5. Признак *характер решений* уточняет стороны деятельности отдельных функций, процессов, структур. Так, на уровне участка, отдела, цеха принимают-

ся преимущественно оперативно-распорядительные решения, затрагивающие различные стороны деятельности данного отдела, цеха, участка.

6. По признаку *компетенция принятия решений* формулируются определенные границы тех полномочий в принятии решений, которыми наделяются те или иные ЛПР. Эти характеристики должны отражаться в соответствующих нормах управленческой деятельности (положение о предприятии, приказы, должностные инструкции). Здесь также необходимо указать:

- персоналии принятия решений — решение принимается единолично или коллегиально;
- возможность децентрализации решений. Так например, по техническим, юридическим, организационным причинам решения могут быть полностью централизованными (если этого требуют чрезвычайные обстоятельства), частично централизованными и полностью децентрализованными, т. е. приниматься на различных уровнях управляющей системы.

7. Признак *носитель (способ фиксации) решения* определяет способ оформления (фиксации) решения — устно или письменно, т. е. в виде устного распоряжения или документа. Таким образом, решение может быть в виде устно-распорядительного или документально оформленного.

8. По признаку отношения к процессу управлению решения также классифицируют следующие группы:

- общие;
- организационные;
- запрограммированные;
- незапрограммированные;
- рациональные;
- нерациональные;
- вероятностные;
- решения в условиях неопределенности;
- интуитивные;
- на основе компромисса;
- альтернативные.

Еще одна форма группировки управленческих решений базируется на признаках, отражающих параметры самого воздействия (табл. 2.3):

1. *Степень повторяемости проблемы.*

В зависимости от повторяемости проблемы, требующей решения, все управленческие решения можно подразделить на традиционные, неоднократно встречавшиеся ранее в практике управления, когда необходимо лишь сделать выбор из уже имеющихся альтернативных, и нетипичные, нестандартные решения, когда их поиск связан прежде всего с генерацией новых альтернатив.

2. *Значимость цели.*

Принятие решения может преследовать собственную, самостоятельную цель или же быть средством, способствующим достижению цели более вы-

Таблица 2.3. Классификация управленческих решений

№	Классификационный признак	Группы управленческих решений
1	Степень повторяемости проблемы	– Традиционные – Нетипичные
2	Значимость цели	– Стратегические – Тактические
3	Сфера воздействия	– Глобальные – Локальные
4	Длительность реализации	– Долгосрочные – Краткосрочные
5	Прогнозируемые последствия решения	– Корректируемые – Некорректируемые
6	Характер использованной информации	– Детерминированные – Вероятностные
7	Метод разработки решения	– Формализованные – Неформализованные
8	Количество критериев выбора	– Однокритериальные – Многокритериальные
9	Форма принятия	– Единоличные – Коллекционные
10	Способ фиксации решения	– Документированные – Недокументированные

сокого порядка. В соответствии с этим решения могут быть стратегическими и тактическими.

3. *Сфера воздействия.*

Результат решения может сказаться на каком-либо одном или нескольких подразделениях организации. В этом случае решения можно считать локальными. Решения могут приниматься и в целях повлиять на работу организации в целом, в этом случае оно будет глобальным.

4. *Длительность реализации.*

Реализация решения может потребовать несколько часов, дней или месяцев. Если между принятием решения и завершением его реализации пройдет сравнительно короткий срок — решение краткосрочное. В то же время все более возрастает количество и значение долгосрочных, перспективных решений, результаты осуществления которых могут быть удалены на несколько лет.

5. *Прогнозируемые последствия решения.*

Большинство управленческих решений в процессе их реализации так или иначе поддается корректировке в целях устранения каких-либо отклонений или учета новых факторов. Вместе с тем имеются и решения, последствия которых необратимы.

6. *Характер использованной информации.*

В зависимости от степени полноты и достоверности информации, которой располагает менеджер, управленческие решения могут быть детерминирован-

ными (принятыми в условиях определенности) или вероятностными (принятыми в условиях риска или неопределенности). Эти решения играют чрезвычайно важную роль при принятии решения. Детерминированные решения принимаются в условиях определенности, когда руководитель располагает практически полной и достоверной информацией в отношении решаемой проблемы, это позволяет ему точно знать результаты каждого из альтернативных вариантов выбора. Такой результат только один, и вероятность его наступления близка к единице. Однако лишь немногие решения принимаются в условиях определенности. Большинство управленческих решений являются вероятностными.

Вероятностными называются решения, принимаемые в условиях риска или неопределенности. К решениям, принимаемым в условиях риска, относятся такие, результаты которых не являются определенными, но вероятность каждого результата известна. Вероятность определяется как степень возможности свершения данного события и изменяется от нуля до единицы. Сумма вероятности всех альтернатив должна быть равна единице. Вероятность можно определить математическими методами на основе статистического анализа опытных данных. Вероятность, рассчитанная на основе информации, позволяющей сделать статистически достоверный прогноз, называется объективной.

В ряде случаев, однако, организация не располагает достаточной информацией для объективной оценки вероятности возможных событий. В таких ситуациях руководителям помогает опыт, который показывает, что именно может произойти с наибольшей вероятностью. В этих случаях оценка вероятности является субъективной.

Решение принимается в условиях неопределенности, когда из-за недостатка информации невозможно количественно оценить вероятность его возможных результатов. Это довольно часто встречается при решении новых, нетипичных проблем, когда требующие учета факторы настолько новы и или сложны, что о них невозможно получить достаточно информации. Неопределенность характерна и для некоторых решений, которые приходится принимать в быстро меняющихся ситуациях. В итоге вероятность определенного результата невозможно оценить с достаточной степенью достоверности.

Сталкиваясь с неопределенностью, управляющий может использовать две основные возможности:

- а) попытаться получить дополнительную информацию и еще раз проанализировать проблему в целях снижения ее новизны и сложности. В сочетании с опытом и интуицией это дает ему возможность оценить субъективную, предполагаемую вероятность возможных результатов;
- б) в отсутствие времени и/или средств на сбор дополнительной информации полагаться на прошлый опыт и интуицию.

7. Метод разработки решения.

Некоторые решения, как правило типичные, повторяющиеся, могут быть с успехом формализованы, т. е. приниматься по заранее заданному алгоритму. Формализация принятия решения повышает эффективность управления.

В результате — снижение вероятности ошибки и экономия времени — не нужно заново разрабатывать решение каждый раз, когда возникает соответствующая ситуация.

В то же время в процессе управления организациями часто встречаются новые, нетипичные ситуации и нестандартные проблемы, которые не поддаются формализованному решению. В таких случаях большую роль играют интеллектуальные способности, талант и личная инициатива менеджера.

На практике большинство решений занимает промежуточное положение между этими двумя крайними точками, допуская в процессе их разработки как проявление личной инициативы, так и применение формальной процедуры.

8. Количество критериев выбора.

Если выбор наилучшей альтернативы производится только по одному критерию, то принимаемое решение будет простым, однокритериальным. И наоборот, когда выбранная альтернатива должна удовлетворить одновременно нескольким критериям, решение будет сложным, многокритериальным.

9. Форма принятия.

Лицом, осуществляющим выбор окончательного решения из имеющихся альтернативных, может быть один человек, и его решение будет соответственно единоличным. Однако в современной практике менеджмента все чаще встречаются сложные ситуации и проблемы, решение которых требует всестороннего, комплексного анализа, т. е. участия группы менеджеров и специалистов. Такие групповые, или коллективные, решения называются коллегиальными. Усиление профессионализации и углубление специализации управления приводят к широкому распространению коллегиальных форм принятия решения. Необходимо также иметь в виду, что определенные решения и законодательно отнесены к группе коллегиальных. Так, например, определенные решения в акционерном обществе (о выплате дивидендов, распределении прибыли и убытков, совершении крупных сделок и др.) отнесены к исключительной компетенции общего собрания акционеров. Коллегиальная форма принятия решений снижает оперативность управления и «размывает» ответственность за его результаты, однако препятствует грубым ошибкам, злоупотреблениям и повышает обоснованность выбора.

10. Способ фиксации решения.

По этому признаку управленческие решения могут подразделяться на фиксируемые, или документированные (т. е. оформленные в виде какого-либо документа — приказа, распоряжения, письма и т. п.), и недокументированные (не имеющие документальной формы, устные). Большинство решений в аппарате управления оформляется документально, однако мелкие незначительные решения, а также решения, принятые в чрезвычайных, острых, не терпящих промедления ситуациях, могут и не фиксироваться документально.

Таким образом, приведенная выше классификация управленческих решений позволит более обоснованно выбрать методы разрешения проблемных ситуаций, адекватных разрабатываемым решениям.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы различия между принятием управленческих решений и принятием решений в повседневной жизни?
2. Каковы различия между решениями, основанными на полной и неполной информации о проблемной ситуации?
3. Какими возможностями выбора располагает руководитель в неопределенной ситуации?
4. Как зависит выбор методологии решения задач от структуры проблемы и типа ЛПР?
5. Что понимается под альтернативой при принятии управленческих решений?
6. Как подразделяются решения по времени и месту их осуществления?
7. В чем состоят различия стратегических, тактических и оперативных решений?
8. Какие существуют стадии в исследовании и определении характера сложной проблемы?
9. Из каких этапов состоит технологический процесс разработки и принятия решения?
10. Как влияет на принятие решения выбор критериев?

Глава 3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Технологические процессы и операции по принятию управленческих решений осуществляются лицом, принимающим решение, в 4 обобщенных этапа:

- 1) формирование и оценка решений;
- 2) подготовка к выбору решения;
- 3) технология процедур принятия решений;
- 4) моделирование процедур принятия решений.

Рассмотрим основное содержание каждого из представленных этапов реализации процедур принятия решения более подробно.

3.1. Формирование и оценка решений

Механизм формирования решений — это творческий процесс, требующий анализа и синтеза всех предшествующих элементов задачи принятия решений: описания проблемной ситуации, имеющихся времени и ресурсов, ограничений, целей и др.

При формировании решений обычно используют следующий алгоритм действий (последовательность этапов формирования решений):

1. Определить возможную область и характер решений.
2. Определить тип решений.
3. Сформулировать крайние варианты множества решений (идеальный и наихудший).
4. Сформировать альтернативы, расположенные между ними.
5. Провести качественное описание ожидаемых преимуществ и недостатков альтернативных вариантов решений.
6. Оценить вероятность реализации решений.
7. Произвести сравнительную оценку предпочтений по достижению цели.

На *первом этапе* предварительный анализ ПС дает возможность определить область решения: экономического, технического, организаторского, технологического и др., которые сужаются до определенных сфер управленческой деятельности.

На *втором этапе* определяется тип возможных решений. Условно можно выделить 3 типа решений:

- *стандартные решения*, применяемые для типовых проблемных ситуаций;
- *решения-усовершенствования*;
- *оригинальные*.

Опыт управленческой деятельности показывает, что наибольшее распространение по количеству формируемых решений при управлении получили

решения типа *решения-усовершенствования*. Это объясняется тем, что большинство экономических ситуаций, требующих принятия управленческих решений, имеют аналоги (прототипы), для которых известны решения, и для новых аналогичных ПС формируют идентичные решения с некоторыми различиями и особенностями.

Естественно, при этом необходимо иметь в виду, чтобы количество различий не переросло в качественно новую ситуацию. Так как в этом случае необходимо видоизменять класс проблемных ситуаций или формировать новый.

Оригинальные решения используются в том случае, когда известные решения-прототипы не подходят и нужен новый подход к разрешению ПС. Здесь обычно используются методы генерации идей (решений), основанные на следующих подходах:

- а) мозговой штурм;
- б) экспертный (системный) вывод;
- в) генерация альтернативных решений.

При решении ПС данными методами обычно генерируют несколько альтернативных решений, удовлетворяющих заданным требованиям. Их вырабатывают столько, сколько можно получить по имеющимся входным данным и ограничениям. Из полученного множества отбираются наиболее эффективные решения, а из них — оптимальные (наилучшие).

На *третьем этапе* для обеспечения уверенности в степени полноты генерируемого множества решений целесообразно сформулировать два крайних варианта альтернатив: максимально желательный и минимально нежелательный, т. е. идеальный, но, возможно, недостижимый и реальный, но нежелательный. Формирование этих крайних вариантов дает некоторую шкалу, на которой можно задать оценку и направление изменения промежуточных вариантов решения для достижения максимального или ухода от минимального.

Генерация промежуточных вариантов выполняется на *четвертом этапе*.

Для каждого сгенерированного варианта необходимо провести анализ на рациональность и достижимость возможных решений и дать качественное описание ожидаемых преимуществ и недостатков по каждому варианту. Эта задача решается на *пятом этапе* формирования решений.

В качестве критериев оценки альтернативных решений в этом случае можно использовать значения степени (вероятности) выполнимости решения, анализ которого проводится на *шестом этапе*.

При формировании системы предпочтений при выборе решения вырабатываются критерии сравнения и оценки вариантов решения, которые необходимо описывать как на качественном уровне, так и, если возможно, на количественном (т. е. максимально использовать количественные оценки, технические характеристики; экономические показатели, например прибыль, затраты и др.). На основании полученных оценок строится таблица (матрица), характеризующая постановку задачи и по значению которой осуществляется выбор решения

по обоснованному заранее методу принятия решения. Решение этой задачи осуществляется на *седьмом этапе*.

Краткое изложение действия при формировании решений и их оценки предполагают следующую последовательность операций: определение сферы и характера решения, выявление типа решения, разработка множества альтернативных решений, анализ и оценка альтернативных решений, определение степени реализации альтернативных решений, выбор критериев и оценка предпочтений.

3.2. Подготовка к выбору решения

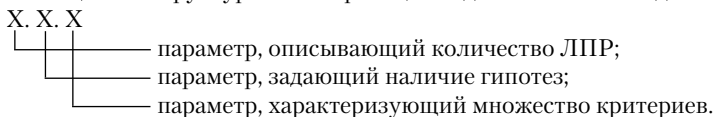
После выполнения подготовительных работ по формированию и оценке решений формируется процедура непосредственного выбора решения.

На первом этапе упорядочивается полученная на предыдущих этапах информация и размещается в соответствующих матрицах (таблицах). При этом для каждого типа задач принятия решений формулируется своя система подготовки и представления информации. В свою очередь, каждая задача ПР характеризуется классификационными параметрами, описанными в предыдущей главе (гл. 2, табл. 2.1).

При подготовке информации для описания и анализа проблемной ситуации используют некоторые типовые структуры, полнота описания которых зависит от типа решаемой задачи. Обычно в качестве основных параметров, определяющих тип задачи и соответственно структуру ее описания, выбирают следующие:

- количество лиц, принимающих решение (один ЛПР — задачи индивидуального выбора характеризуют задачи *типа J*; несколько ЛПР — задачи группового выбора — *типа G*);
- наличие гипотез по дальнейшему развитию исходной ситуаций при отсутствии необходимой информации по проблеме, методологии решения или характеристик альтернативы (возможных вариантов развития событий) задает *тип задачи S*;
- наличие одного или нескольких критериев (если критериев несколько, то задача имеет *тип A*).

Обобщенная структура классификации задачи ПР имеет вид:



Определим систему описания информации для некоторых классов задач, наиболее часто встречающихся в практике управления.

1. Задачи индивидуального выбора.

1.1. *Задачи типа J*. Эти задачи характеризуются одной ситуацией, наличием одного критерия и индивидуальным выбором. Информация, описывающая за-

дачи такого типа, характеризуется следующими данными: множество альтернативных вариантов $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$; значение функции предпочтения (полезности) для каждого варианта $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$. Задача обычно описывается простой таблицей (матрицей) следующего типа (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Матрица описания задач типа J

Альтернативные решения	Y_1	Y_2	...	Y_n
Значения функции предпочтения	f_1	f_2	...	f_n

Для вычисления значений функции предпочтения по каждому варианту может быть использована любая шкала: порядковая (ранги), количественная (степени достижения) и др. В дополнение к матрице может быть дана информация об особенностях решения, условиях, ограничениях, возможностях и т. д.

1.2. *Задачи типа JS.* Для задач этого типа обычно не полностью определена сама исходная проблемная ситуация S_0 . В этом случае S_0 доопределяется гипотетическими ситуациями S_i , которые описывают возможные сценарии ее дальнейшего развития в зависимости от действия тех или иных факторов внешней или внутренней среды, т. е. $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, и для каждой из ситуаций S_i задается вероятность p_i ее возникновения, т. е. $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$.

Задачи данного типа характеризуются одним критерием (целью), множеством альтернативных решений $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$ и множеством гипотез $(S_1, S_2, \dots, S_n)$ с вероятностями их появления $(p_1, p_2, \dots, p_n)$. Для каждой альтернативы в разрезе возможных гипотез ее развития необходимо оценить значение функции предпочтения по каждой альтернативе $F = (f_{11}, f_{12}, \dots, f_{21}, \dots, f_{mn})$.

Информация описания задачи такого типа обычно представляется матрицей (табл. 3.2), где f_{ij} — функция предпочтения; p_i — вероятность появления ситуации S_i .

Таблица 3.2. Матрица описания задач типа JS

Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n
Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}
	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}
	...	...	...	...	...
	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}
Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n

1.3. *Задачи типа JA.* Задачи этого типа являются многокритериальными и характеризуются одной, вполне определенной ситуацией S_0 . Для каждой цели (критерия) из множества целей решения $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$ могут быть определены приоритеты, задающие степень важности цели при решении задачи $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$

Таким образом, по задаче известна следующая информация: множество альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$; множество целей решения $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$ с заданными приоритетами целей по их важности $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$. Для каждой альтернативы по каждой цели решения необходимо оценить значение функции предпочтения $F = (f_{11}, f_{12}, \dots, f_{21}, \dots, f_{mk})$.

Информация описания такой задачи представляется матрицей (табл. 3.3), где A_e — цели (критерии); b_i — приоритеты критериев; f_{ij} — функция предпочтения.

Таблица 3.3. Матрица описания задач типа JA

Критерии (цели)		A_1	A_2	...	A_k
Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1k}
	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2k}
	...	...	...	...	...
	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mk}
Приоритеты целей		b_1	b_2	...	b_k

1.4. *Задачи типа JA*. Задачи данного типа относятся к многокритериальным и неполно определенным, т. е. дополнительно характеризуются системой гипотез. Задача является комбинацией двух предыдущих задач.

Для каждой цели (критерия) из множества целей решения $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$ задается степень важности цели при решении задачи $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$, а сама исходная ситуация S_0 доопределяется гипотетическими ситуациями S_i , которые описывают возможные сценарии ее дальнейшего развития в зависимости от действия тех или иных факторов внешней или внутренней среды, т. е. $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, и для каждой из ситуаций S_i задается вероятность p_i ее возникновения, т. е. $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$.

Таким образом, по задаче известна следующая информация: множество альтернативных решений $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$; множество целей решения $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$ с заданными приоритетами целей по их важности $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$ и множество гипотез $(S_1, S_2, \dots, S_n)$ с вероятностями их появления $(p_1, p_2, \dots, p_n)$. Для каждого варианта в разрезе возможных гипотез его развития, по каждой цели разрешения проблемы необходимо оценить значение функции предпочтения по каждой альтернативе $F = (f_{111}, f_{112}, \dots, f_{1nk}, f_{211}, \dots, f_{m11}, \dots, f_{mnk})$. Таким образом, каждая гипотеза определяется ее вероятностью, а критерии — приоритетами целей. Описание такой задачи характеризуется матрицей, представленной в табл. 3.4, где f_{ijz} — функция предпочтения, индексы которой соответствуют следующим параметрам: i — индекс альтернативы, j — индекс гипотезы, z — индекс критерия; A_z — цели (критерии); b_z — приоритеты критериев; S_j — гипотеза развития ПС; p_j — вероятность появления ситуации S_j .

2. Задачи *группового выбора* представляют собой процедуру решения задач экспертной группой, состоящей обычно из экспертов-специалистов в сфере ре-

Таблица 3.4. Матрица описания задач типа JSA

Гипотезы		S_1			S_2			...	S_n		
Критерии (цели)		A_1	...	A_k	A_1	...	A_k	...	A_1	...	A_k
Альтернативы решения	Y_1	f_{111}	...	f_{11k}	f_{121}	...	f_{12k}	...	f_{1n1}	...	f_{1nk}
	Y_2	f_{211}	...	f_{21k}	f_{221}	...	f_{22k}	...	f_{2n1}	...	f_{2nk}
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Y_m	f_{m11}	...	f_{m1k}	f_{m21}	...	f_{m2k}	...	f_{mn1}	...	f_{mnk}
Приоритеты целей		b_1	...	b_k	b_1	...	b_k	...	b_1	...	b_k
Вероятности гипотез		p_1			p_2			...	p_n		

шаемой проблемы. Таким образом, экспертная группа состоит из нескольких индивидуальных ЛПР, $G = (J_1, J_2, \dots, J_m)$, каждое из которых решает одну из вышеприведенных классов задач 1.1–1.4.

Эти различные типы задач рассмотрены выше, но дополнительным параметром группового решения является необходимость согласования полученного множества эффективных решений через процедуру и критерий согласования. В зависимости от наличия имеющихся параметров исходной ситуации, количества целей разрешения проблемы и полноты описания проблемы данная группа задач может быть разбита на несколько классов.

2.1. *Задачи типа G* характеризуются одной вполне определенной ситуацией, наличием одного критерия выбора, но базируются на методологии группового выбора.

В практике управления часто встречаются такие ПС, информация для описания которых частично либо полностью неизвестна или труднодоступна, либо которые невозможно формализовать с достаточной точностью. Такие проблемы обычно решаются с помощью привлекаемой группы экспертов, анализирующих и оценивающих имеющуюся проблемную ситуацию и генерирующих некоторое множество альтернативных решений.

Сама процедура проведения экспертного опроса и оценки мнений проводится в несколько этапов:

- Отбор и формирование экспертной группы. При этом необходимо учитывать следующие требования: компетентность, независимость, деловые качества экспертов, совпадение целей экспертизы для всей группы. Количество экспертов в группе должно составлять от 5 до 15 человек (оптимальный вариант).
- Проведение опроса, для чего необходимо задать процедуру оценивания, указать тип шкалы, по которой необходимо оценивать объекты, и определить основные оцениваемые параметры объектов. Процедура оценивания обычно проводится в виде интервью, анкетирования или дискуссии.
- Обработка данных. Данные сводятся в специальные таблицы отдельно по каждому эксперту и по всей группе в целом. Обработка данных может быть количественной (статистической) и качественной. Оцениваются

как сами эксперты, так и проблемная ситуация. На основе личных оценок каждого эксперта вычисляются групповые оценки, которые, в свою очередь, оцениваются на достоверность. Групповые оценки считаются достоверными, если индивидуальные оценки экспертов хорошо согласованы между собой. В качестве критерия достоверности могут быть использованы коэффициенты согласия, вычисляемые на базе коэффициента множественной корреляции (коэффициент конкордации).

- Формирование решений с использованием различных известных стратегий принятия решений и принципов согласования мнений экспертов.

Информация, описывающая задачи такого типа, характеризуется следующими данными: имеется множество альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$, выбор среди которых осуществляется группой экспертов $G = (J_1, J_2, \dots, J_m)$. Каждый эксперт на множестве альтернативных решений определяет значения функции предпочтения (полезности) $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ в разрезе каждого варианта.

Информация, описывающая такие задачи, обычно представляется для каждого эксперта простыми матрицами аналогично задачам класса J , с той лишь разницей, что таких матриц (задач) будет столько, сколько членов в экспертной группе. Вполне возможно, что для каждого эксперта вычисляется показатель важности эксперта в группе, который характеризует его приоритет в данной проблемной области, $W = (W_1, W_2, \dots, W_m)$.

Для экспертной группы с m членами, решающей однокритериальную задачу с n альтернативами, используется группа таблиц (табл. 3.5).

Таблица 3.5. Матрицы описания задач типа G

$J_1 = \text{ЛПР}_1$					$J_2 = \text{ЛПР}_2$					ЛПР_j	$J_m = \text{ЛПР}_m$				
Альтернативы	Y_1	Y_2	...	Y_n	Альтернативы	Y_1	Y_2	...	Y_n		Альтернативы	Y_1	Y_2	...	Y_n
	f_1	f_2	...	f_n		f_1	f_2	...	f_n			f_1	f_2	...	f_n
W_1					W_2					W_j	W_m				

На основании данной матрицы строится результирующая таблица по итогам индивидуального выбора каждого эксперта группы. Причем каждый эксперт может выбрать в качестве эффективного свой вариант решения. Таким обра-

зом, в наилучшем варианте все эксперты могут указать один и тот же вариант, который будет принят в качестве эффективного решения. В наихудшем случае все эксперты назовут (выберут) различные локальные эффективные варианты, т. е. количество эффективных вариантов равно количеству экспертов m . Для выявления группового эффективного варианта решения необходимо выбрать принцип согласования экспертных мнений с учетом их приоритетов важности в группе экспертов и осуществить процедуру группового согласования мнений экспертов, в результате которой и формулируется эффективное решение Y^* (табл. 3.6).

Таблица 3.6. Таблица согласования мнений экспертов группы

№ п/п	Лицо принимающее решение (член экспертной группы)	Эффективное (локальное) решение	Приоритет эксперта
1	ЛПР ₁	Y_U	W_1
2	ЛПР ₂	Y_J	W_2
...			
m	ЛПР _{m}	Y_Z	W_m
	Согласованное решение (групповое решение)	Y^*	

Задачи типа GS характеризуется не полностью определенной ситуацией, наличием одного критерия выбора, но базируется на методологии группового выбора. Данные задачи аналогичны задачам типа JS и используют такое же представление данных при индивидуальном решении задачи каждым экспертом группы. Количество таких задач (матриц представления задачи) должно соответствовать количеству экспертов в группе.

Для задач этого типа сама исходная проблемная ситуация S_0 не полностью определена и сама ситуация S_0 доопределяется гипотетическими ситуациями S_i , которые описывают возможные сценарии ее дальнейшего развития, т. е. $S_0 = (S_1, S_2, ..., S_n)$, причем для каждой из возможных гипотез S_i задается вероятность p_i ее возникновения, т. е. $P = (p_1, p_2, ..., p_n)$.

Информация, описывающая задачи такого типа, характеризуется следующими данными: для некоторой возможной совокупности состояний, определяемых как гипотетическое развитие исходной ситуации $S_0 = (S_1, S_2, ..., S_n)$, имеется множество возможных альтернативных вариантов $Y = (Y_1, Y_2, ..., Y_m)$, привязанных к выделенным гипотезам, среди которых осуществляется выбор решения группой экспертов $G = (J_1, J_2, ..., J_m)$. Каждый эксперт на множестве альтернативных вариантов определяет значения функции предпочтения (полезности) $F = (f_1, f_2, ..., f_n)$ в разрезе каждой альтернативы. Данная задача аналогична задаче типа JS и использует такое же представление данных по каждому эксперту. Общая схема решения задачи представлена в табл. 3.7. Количество таких матриц должно соответствовать количеству экспертов в группе.

Задачи типа GA характеризуется полностью определенной ситуацией, наличием нескольких критериев выбора и базируется на методологии группо-

Таблица 3.7. Матрицы описания задач типа *GS*

№ п/п	Лицо, принимающее решение (член экспертной группы)	Решаемая задача типа JS					Эффективное (локальное) решение	Приоритет эксперта	
1	$J_1 = \text{ЛПР}_1$	Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n	Y_U	W_1
	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}			
		Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}			
		...	...	...	...	...			
		Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}			
	Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n			
2	$J_2 = \text{ЛПР}_2$	Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n	Y_J	W_2
	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}			
		Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}			
		...	...	...	...	...			
		Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}			
	Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n			
...	...	...					...	...	
m	$J_m = \text{ЛПР}_m$	Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n	Y_Z	W_m
	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}			
		Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}			
		...	...	...	...	...			
		Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}			
	Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n			
Формирование принципа и критерия согласования мнений экспертов									
Согласованное решение (групповое решение)							Y^*		

вого выбора. Данная задача аналогична задаче типа *JA* и использует такое же представление данных при индивидуальном решении задачи отдельно каждым экспертом группы. Количество таких задач (матриц представления задачи) соответствует количеству экспертов в группе.

Для задач этого типа задачи сама проблемная ситуация S_0 характеризуется множеством целей решения $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$, для каждой из которых (критериев выбора) определяются приоритеты важности цели $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$. Выбор

осуществляется группой экспертов $G = (J_1, J_2, \dots, J_m)$, причем для каждого эксперта определяется показатель важности эксперта в группе, который характеризует его приоритет в данной проблемной области, $W = (W_1, W_2, \dots, W_m)$. При этом для каждой альтернативы по каждой цели каждым экспертом формируется значение функции предпочтения $F = (f_{11}, f_{12}, \dots, f_{21}, \dots, f_{mk})$.

Данная задача аналогична задаче *типа JA* и использует аналогичное представление данных для постановки задачи по каждому эксперту. Общая схема решения задачи представлена в табл. 3.8. Количество матриц локальной задачи *типа JA* должно соответствовать количеству экспертов в группе.

Задачи типа GSA. Задачи такого типа относятся к наиболее сложным задачам многокритериального выбора с дополнительно определяемой системой возможных гипотез развития исходной ситуации. Решение задачи ведется группой экспертов.

То есть задача характеризуется не полностью определенной ситуацией, наличием множества целей (критериев выбора) и базируется на методологии группового выбора. Данная задача аналогична задаче типа *JA* и использует аналогичное представление данных при индивидуальном решении задачи каждым экспертом группы. Количество таких задач (матриц представления задачи) соответствует количеству экспертов в группе.

Для задач этого типа сама исходная проблемная ситуация S_0 не полностью определена и доопределяется гипотетическими ситуациями S_i , которые описывают возможные сценарии ее дальнейшего развития, т. е. $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, причем для каждой из возможных гипотез S_i задается вероятность p_i ее возникновения, т. е. $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$. Кроме этого, задача характеризуется множеством целей решения $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$, для каждой из которых (критериев выбора) можно определить важности каждой цели $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$. Выбор осуществляется группой экспертов $G = (J_1, J_2, \dots, J_m)$, причем для каждого эксперта также можно определить показатель приоритета эксперта в группе, который характеризует его важность в данной предполагаемой сфере управленческой деятельности $W = (W_1, W_2, \dots, W_m)$. При этом для каждой гипотезы $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ по каждой альтернативе и реализуемой цели (критерию) каждым экспертом формируется значение функции предпочтения $F = (f_{111}, f_{112}, \dots, f_{1nk}, f_{211}, \dots, f_{m11}, \dots, f_{mnk})$.

Информация, описывающая задачи такого типа, характеризуется следующими данными: для некоторой возможной совокупности состояний, определяемых как гипотетическое развитие исходной ситуации $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, имеется множество возможных альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$, эффективность которых определяется соответствием множеству целей $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$, для каждой из которых задается важность цели $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$, привязанная к выделенным гипотезам и критериям, выбор среди которых осуществляется группой экспертов $G = (J_1, J_2, \dots, J_m)$. Каждый эксперт на множестве альтернатив определяет значения функции предпочтения (полезности) $F = (f_{111}, f_{112}, \dots, f_{1nk}, f_{211}, \dots, f_{m11}, \dots, f_{mnk})$ в разрезе каждой гипотезы по каждой альтернативе. Данная задача аналогична задаче типа *JA* и использует такое же представление данных по каждому экс-

Таблица 3.8. Матрицы описания задач типа GA

№ п/п	Лицо, принимающее решение (член экспертной группы)	Решаемая задача типа <i>JA</i>					Эффективное (локальное) решение	Приоритет эксперта	
1	$J_1 = \text{ЛПР}_1$	Критерии (цели)		A_1	A_2	$\dots$	A_n	Y_U	W_1
	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	$\dots$	f_{1n}			
		Y_2	f_{21}	f_{22}	$\dots$	f_{2n}			
		$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$			
		Y_m	f_{m1}	f_{m2}	$\dots$	f_{mn}			
	Приоритеты целей		b_1	b_2	$\dots$	b_n			
2	$J_2 = \text{ЛПР}_2$	Критерии (цели)		A_1	A_2	$\dots$	A_n	Y_J	W_2
	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	$\dots$	f_{1n}			
		Y_2	f_{21}	f_{22}	$\dots$	f_{2n}			
		$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$			
		Y_m	f_{m1}	f_{m2}	$\dots$	f_{mn}			
	Приоритеты целей		b_1	b_2	$\dots$	b_n			
...	...	...					...	...	...
m	$J_m = \text{ЛПР}_m$	Критерии (цели)		A_1	A_2	$\dots$	A_n	Y_Z	W_m
	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	$\dots$	f_{1n}			
		Y_2	f_{21}	f_{22}	$\dots$	f_{2n}			
		$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$			
		Y_m	f_{m1}	f_{m2}	$\dots$	f_{mn}			
	Приоритеты целей		b_1	b_2	$\dots$	b_n			
Формирование принципа и критерия согласования мнений экспертов									
Согласованное решение (групповое решение)							Y^*		

перту. Общая схема решения задачи представлена в табл. 3.9. Количество таких матриц должно соответствовать количеству экспертов в группе.

На основании сформулированных каждым экспертом мнений о локально эффективных вариантах решения $Y_{\text{э}} = (Y_{\text{ЛПР}_1}, Y_{\text{ЛПР}_2}, \dots, Y_{\text{ЛПР}_m})$ с учетом обобщенной процедуры согласования производится выбор группового эффективного варианта решения:

$$(Y_{\text{ЛПР}_1}, Y_{\text{ЛПР}_2}, \dots, Y_{\text{ЛПР}_m}) \rightarrow Y^*.$$

Таблица 3.9. Матрицы описания задач типа GSA

№ п/п	Лицо, принимающее решение (член экспертной группы)	Решаемая задача типа JA										Эффек- тивное (локаль- ное) решение	Прио- ритет эксперта		
1	$J_1 = \text{ЛПР}_1$	Гипотезы		S_1			S_2			...	S_n	Y_U	W_1		
		Критерии (цели)		A_1	...	A_k	A_1	...	A_k	...	A_1			...	A_k
		Альтернативы решения	Y_1	f_{111}	...	f_{11k}	f_{121}	...	f_{12k}	...	f_{1n1}			...	f_{1nk}
			Y_2	f_{211}	...	f_{21k}	f_{221}	...	f_{22k}	...	f_{2n1}			...	f_{2nk}
			...	...	...	...	...	...	...	...	...			...	...
		Y_m	f_{m11}	...	f_{m1k}	f_{m21}	...	f_{m2k}	...	f_{mn1}	...			f_{mnk}	
		Приоритеты целей		b_1	...	b_k	b_1	...	b_k	...	b_1	...	b_k		
		Вероятности гипотез		p_1			p_2			...	p_n				
2	$J_2 = \text{ЛПР}_2$	Гипотезы		S_1			S_2			...	S_n	Y_J	W_2		
		Критерии (цели)		A_1	...	A_k	A_1	...	A_k	...	A_1			...	A_k
		Альтернативы решения	Y_1	f_{111}	...	f_{11k}	f_{121}	...	f_{12k}	...	f_{1n1}			...	f_{1nk}
			Y_2	f_{211}	...	f_{21k}	f_{221}	...	f_{22k}	...	f_{2n1}			...	f_{2nk}
			...	...	...	...	...	...	...	...	...			...	...
		Y_m	f_{m11}	...	f_{m1k}	f_{m21}	...	f_{m2k}	...	f_{mn1}	...			f_{mnk}	
		Приоритеты целей		b_1	...	b_k	b_1	...	b_k	...	b_1	...	b_k		
		Вероятности гипотез		p_1			p_2			...	p_n				
...	...	...										...	...		
m	$J_m = \text{ЛПР}_m$	Гипотезы		S_1			S_2			...	S_n	Y_z	W_m		
		Критерии (цели)		A_1	...	A_k	A_1	...	A_k	...	A_1			...	A_k
		Альтернативы решения	Y_1	f_{111}	...	f_{11k}	f_{121}	...	f_{12k}	...	f_{1n1}			...	f_{1nk}
			Y_2	f_{211}	...	f_{21k}	f_{221}	...	f_{22k}	...	f_{2n1}			...	f_{2nk}
			...	...	...	...	...	...	...	...	...			...	...
		Y_m	f_{m11}	...	f_{m1k}	f_{m21}	...	f_{m2k}	...	f_{mn1}	...			f_{mnk}	
		Приоритеты целей		b_1	...	b_k	b_1	...	b_k	...	b_1	...	b_k		
		Вероятности гипотез		p_1			p_2			...	p_n				
Формирование принципа и критерия согласования мнений экспертов															
Согласованное решение (групповое решение)												Y^*			

3.3. Технологический процесс принятия решений

Процесс управления с точки зрения выполнения шагов управления представляет собой систему действий, которую можно условно называть технологией (технологическим процессом) принятия решений.

Весь процесс подготовки и принятия решения можно представить в виде следующих этапов:

- 1) выявление проблемной ситуации, определение цели решения и критериев оценки его результатов;
- 2) информационный цикл, этап сбора информации для ознакомления с вопросом, по которому принимается решение (это самый важный этап, он требует наиболее квалифицированного управленческого труда, умения анализировать, выбирать наилучший вариант решения);
- 3) организация выполнения принятого решения (разработка плана реализации решения, определение сроков выполнения операций, назначение ответственных лиц, инструктаж и другие мероприятия, которые могут потребоваться для выполнения принятого решения);
- 4) контроль выполнения решения.

Только при сочетании всех звеньев процесса управления и соблюдении всего технологического цикла принятия решения этот процесс будет осуществлен с учетом объективной информации на научной основе. Подготовка, принятие и реализация решений как процесс управленческого труда имеют определенную технологию, определяемую в виде совокупности последовательно применяемых приемов и способов достижения целей деятельности.

Процесс решения с технологической точки зрения можно представить в виде последовательности этапов и процедур, имеющих между собой прямые и обратные связи. Предлагается следующая схема процесса подготовки, принятия и реализации решения.

Технология процессов принятия решений во многом зависит от принятой *технологии управления* в организационной структуре управления. Технология задает последовательность операционных элементов и их взаимосвязь в процессе управления. Эти действия состоят из набора операций и процедур, выполняемых ЛПР в определенной последовательности. Совокупность принятых элементарных операций позволяет строить модель процесса принятия решений с подробным анализом всех звеньев, как технических, так и методико-технологических, представляющих средства новых информационных технологий в процессе управления и принятия решений.

Однако, невзирая на технологические средства, используемые в процессе управления и ПР, можно выделить основные этапы управленческой технологии, сведенные к процедурам ПР по проблемной ситуации. При этом считаем, что проблемная ситуация находится в сфере действия (проблемной области) ЛПР.

В литературе по проблемам ПР содержание и набор операционных элементов трактуются с разной степенью детализации¹. Однако среди них можно выделить обобщенные процедуры в виде некоторого иерархического описания технологии принятия решений²:

- 1-й уровень — организационный;
- 2-й уровень — информационный;
- 3-й уровень — технологический.

Первый уровень позволяет выявить этапы, отличающиеся структурной организацией работы. По организационно-структурной схеме различают следующие этапы:

- 1) подготовка и анализ данных;
- 2) подготовка задачи;
- 3) разработка альтернатив;
- 4) принятие решения.

Второй уровень выделяет этапы, различающиеся по характеру используемой информации. По такой информационной схеме выделяются следующие этапы:

- 1) получение и подготовка данных;
- 2) формулировка проблемной ситуации;
- 3) подготовка задач;
- 4) разработка модели и метода решения;
- 5) разработка альтернатив;
- 6) прогноз и оценка;
- 7) определение (уточнение) критериев выбора;
- 8) выбор;
- 9) оформление решения.

Третий уровень показывает группы однородных технологических операций в процессе решения, т. е. операций по обработке информации, — информационную технологию. Здесь выделяют следующие этапы:

- 1) поиск, получение и восприятие данных;
- 2) фильтрация и «сжатие» данных;
- 3) выявление ситуаций и постановка проблемы;
- 4) определение проблемной ситуации;

¹ Белкин А. Р., Левин М. Ш. Принятие решений: комбинаторные модели аппроксимации информации; Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. — М., 1976. — С. 172–215; Вилкас Э. И. Оптимальность в играх и решениях; Индрюанас А. В. Системный анализ и процедуры принятия решений; Кукор Б. Л. Информация и процессы принятия решений руководителем; Планкет Л., Хейл Г. Выработка и принятие управленческих решений.

² Вилкас Э. И. Оптимальность в играх и решениях.

- 5) структуризация проблемной ситуации;
- 6) квантификация факторов и связей;
- 7) определение целей, критериев, условий;
- 8) согласование и оценка компонентов задачи;
- 9) формулировка задачи;
- 10) разработка моделей решения задач;
- 11) поиск, разработка и выбор процедуры решения задачи;
- 12) разработка альтернатив;
- 13) группировка альтернатив по целям, условиям и др.;
- 14) прогноз и оценка реализуемости альтернатив;
- 15) прогноз и оценка следствий реализации альтернатив;
- 16) определение частных критериев и предпочтений для выбора альтернатив;
- 17) обобщение критериев и предпочтений;
- 18) выбор решения;
- 19) интерпретация и оценка результатов выбора;
- 20) реализация решения.

Обобщенная схема соответствия уровней технологии принятия решений приведена в табл. 3.10, а графическая интерпретация — на рис. 3.1.

На рис. 3.1 каждый нижестоящий (находящийся справа) уровень уточняет и детализует верхний уровень управления (находящийся слева в табл. 3.10). Анализ информационного уровня показывает обобщенную структуру информационного фонда системы поддержки процессов управления и принятия решений (ПУПР) и необходимость использования для каждой операции данного уровня адекватных процедур обработки и соответственно адекватной структуры подсистемы поддержки данной операции процесса ПР.

Однако в структуре технологии ПР существуют различные виды элементов проблемной ситуации и соответственно проблемной области, а значит, и различные виды элементов информационного фонда, включаемых в область действия ЛПР. Поэтому необходимо подробнее остановиться на структуре информационного фонда для определения в дальнейшем эффективных процедур для каждого типа используемых в фонде информационных элементов.

Исходя из основных задач, решаемых на информационном уровне, можно сделать вывод о необходимости всего лишь двух типов элементов информационного фонда для решения двух глобальных задач по ПР. Это информационное обеспечение в виде всевозможных баз данных для информационной поддержки задач распознавания проблемной ситуации и специальное обеспечение в виде некоторого семантического представления и моделей развития проблемной ситуации (ПС) (процедуры обработки, правила, информационные семантические блоки представления ситуаций, модели оценки последствий выбранных альтернатив и развития ПС и др.) для задач разрешения проблемной ситуации.

Таблица 3.10. Таблица соответствия уровней технологических операций по принятию решений

Организационный уровень		Информационный уровень		Технологический уровень	
1	Подготовка и анализ данных	1	Получение и подготовка данных	1	Поиск, получение и восприятие данных
				2	Фильтрация и «сжатие» данных
		2	Формулировка проблемной ситуации	3	Выявление ситуаций и постановка проблемы
				4	Определение проблемной ситуации
2	Подготовка задачи	3	Подготовка задач	5	Структуризация проблемной ситуации
				6	Квантификация факторов и связей
				7	Определение целей, критериев, условий
				8	Согласование и оценка компонентов задачи
				9	Формулировка задачи
3	Разработка альтернатив	4	Разработка модели и метода решения	10	Разработка моделей решения задач
				11	Поиск, разработка и выбор процедуры решения задачи
		5	Разработка альтернатив	12	Разработка альтернатив
				13	Группировка альтернатив по целям, условиям и др.
		6	Прогноз и оценка реализуемости альтернатив	14	Прогноз и оценка реализуемости альтернатив
				15	Прогноз и оценка следствий реализации альтернатив
4	Принятие решения	7	Определение (уточнение) критериев выбора	16	Определение частных критериев и предпочтений для выбора альтернатив
				17	Обобщение критериев и предпочтений
		8	Выбор наилучшего решения	18	Выбор решения
		9	Оформление решения	19	Интерпретация и оценка результатов выбора
				20	Реализация решения

Рассмотрим более подробно содержание уровней технологических операций по принятию решений.

Подготовка и анализ данных по проблемной ситуации. На информационном уровне анализируется исходная информация о состоянии объекта исследования — проблемы и внешней среды, воздействующей на проблему, определяются место и роль анализируемых объектов исследования среди смежных

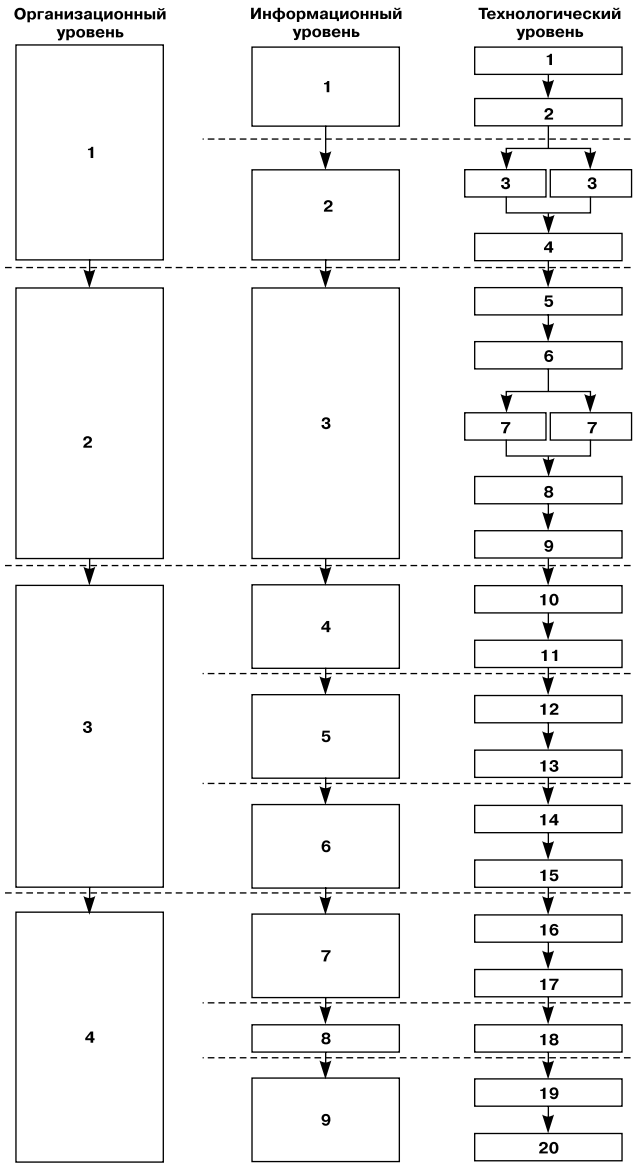


Рис. 3.1. Общая схема процесса принятия решения

объектов и объектов более высокого иерархического порядка, осуществляется выявление, структуризация и ранжирование целей проблемной ситуации, проводится формализация проблемы.

При формулировании проблемы прежде всего определяются стратегические направления решения выявленной проблемы для последующего формирования целей. Стратегические варианты решения выявленной проблем излагаются в сценарии развития проблемной ситуации. Под сценарием понимается вербально-аналитическое описание существующего и прогнозируемого состояний объекта исследования и принципиальных подходов к решению проблемы. Сценарий содержит предварительный расчет ресурсов, необходимых для решения проблемы в рамках различных стратегических направлений их реализации.

Технологический уровень задает конкретное содержание каждого этапа данного организационного уровня.

Конечным результатом работ на первом этапе выработки решения является определение проблемной ситуации в виде выявления так называемых базовых, кардинальных проблем, за решение которых надо браться в первую очередь, ранжирование этих проблем, если их несколько, и выбор стратегического направления их решения с предварительной ресурсной оценкой.

Подготовка задачи принятия решения. На этапе информационной подготовки задачи делается обобщение информации о проблеме и строится формальная постановка задачи. Для этого на технологическом уровне проводится четкая структуризация элементов проблемной ситуации, устанавливается четкое соответствие отношений и связей между элементами проблемы, определяются условия и ограничения на решение проблемы и согласовываются все компоненты проблемной ситуации. При формировании целей определяются цели решения базовых, кардинальных проблем. Цели должны иметь конкретные формулировки и количественные характеристики, по которым можно будет судить о степени их достижения. В конечном счете приводится полная и емкая формулировка решаемой задачи. Это и является конечным результатом работ на втором этапе.

Разработка альтернатив проводится в виде выявления полного перечня альтернатив. На этом этапе информационного уровня определяются потенциальные методы и модели решения проблемы, затем выявляется полная совокупность альтернативных вариантов (способов, средств) достижения поставленных целей. Далее необходимо провести оценку развития и степени реализуемости каждой из возможных вариантов.

На технологическом уровне конкретизируются разработка и группировка альтернатив и методологии прогнозной оценки динамики изменения проблемы под воздействием той или иной альтернативы решения. Это и является конечным результатом работ на третьем этапе. В реальных условиях обычно рассматриваются два-три варианта решения, не более: меньше трудоемкость анализа, меньше шансов совершить грубую ошибку. Однако в этом случае мала

вероятность принятия наилучшего решения. Среди них может вообще не быть наилучшего. При большом наборе вариантов решений вероятность, что в их числе есть наилучшее решение, увеличивается.

Принятие решения сводится к выбору из допустимых альтернативных решений наилучшего. На информационном уровне определяются критерии эффективного выбора, проводится сама процедура выбора и оформляются процедура решения и методология реализации решения.

На основе данных, полученных на предыдущем этапе, а также с помощью любой другой информации производится выбор наилучшего способа достижения поставленных целей и формирование суждения о предпочтительности вариантов достижения целей. Альтернативные решения, выявленные на предыдущем этапе, пропускаются через фильтр различных ограничений (ресурсных, юридических, социальных). Конечным результатом работ на данном этапе является множество альтернативных решений, удовлетворяющих ограничениям.

Технологический уровень охватывает конкретные действия по определению предпочтений выбора, формированию функции полезности каждого решения и описывает процедуру выбора. Выбор лучшего решения проводится на базе детального анализа допустимых решений с точки зрения достижения поставленных целей, затрат ресурсов, соответствия конкретным условиям реализации решения.

Весьма важными являются этапы интерпретации результатов решения и проведение процесса реализации выбранного решения. Конечным результатом работы данного этапа является вынесение суждения о предпочтительности альтернативных решений, проведении выбора и обеспечении процесса реализации решения.

При интерпретации решения и затруднениях в окончательном выборе наилучшего может проводиться экспериментальная проверка наиболее предпочтительных решений для получения дополнительной экспериментальной информации, необходимой для окончательного формирования суждения о предпочтительности определенного варианта решения.

При реализации решения проводится определение этапов, сроков, ресурсов и исполнителей принятого решения. На данном этапе принятое решение разделяется на составные компоненты, имеющие конкретную временную, ресурсную и адресную привязку в системе плана реализации решения.

На основании данного плана осуществляется процесс доведения заданий до исполнителей, обеспечение исполнителей необходимым методологическим инструментарием, ресурсами, проводится выбор рациональных методов реализации, подбор и обучение персонала, осуществляющего реализацию, разъяснение исполнителям целей решения и их конкретной роли в его реализации, определение методов стимулирования эффективного выполнения решения.

Важным шагом в реализации решения является также мониторинг исполнения решения, во время которого осуществляется оперативный контроль за реализацией решения, устранение отклонений от реализации решения, внесе-

ние в случае необходимости корректировок в реализуемое решение, анализ результатов реализованного решения.

Результат работ на данном, завершающем, этапе является конечным для всего рассмотренного процесса подготовки, принятия и реализации решения, т. е. полным достижением целей решения в установленные сроки в рамках отпущенных ресурсов.

3.4. Моделирование процедур принятия решений

Рассмотрим основные модели, которые описывают механизм принятия решений при различных параметрах процесса выбора: в различных информационных условиях (определенности, риска, неопределенности), при различных типах и количестве ЛПР (оптимизма, пессимизма, индивидуальный ЛПР, групповой ЛПР) и пр.¹

В условиях определенности построение модели механизма принятия решения происходит следующим образом².

Пусть M — модель механизма ПР; M_0 — модель процесса функционирования объекта управления. Тогда, модель M можно представить в виде некоторого отображения множества целей управления Z , состояний S и ресурсов R , определенных на множестве состояний экономического объекта, переводящее их во множество управленческих воздействий X :

$$M: (R \times Z \times S) \rightarrow X,$$

где R — множество ресурсов; Z — множество целей; S — множество состояний системы управления; X — множество управленческих воздействий.

Модель M_0 описывается отображением, переводящим множество состояний S_0 , управленческих воздействий X и ресурсов R_0 во множество исходов Y :

$$M_0: (X \times R_0 \times S_0) \rightarrow Y,$$

где R_0 — множество ресурсов; S_0 — множество состояний объекта; Y — множество исходов.

При решении модели M процедура принятия решений задается правилом

$$\phi_1: (Y \times A) \rightarrow E,$$

где E — множество упорядоченных альтернативных решений.

Моделирование процедуры принятия решений в условиях риска предполагает необходимость учета влияния внешней среды. Но поскольку нет полной информации об этом влиянии, а имеются лишь некоторые вероятностные характеристики распределения состояний $s \in S$, то имеем

¹ Алдокин И. П., Бубенко И. В. Теория принятия решений; Разу М. Л. Оптимизация управленческих решений. — М.: МИУ. 1986. 64 с.

² Афоничкин А. И., Принятие управленческих решений в экономических системах.

$$\phi_2 : (Y \times P \times A) \rightarrow E,$$

где P — множество вероятных появлений исходов $y \in Y$.

Моделирование процедуры принятия решений в условиях определенности характеризуется таким описанием проблемной ситуации, когда неизвестны даже значения вероятностей $p \in P$. В этом случае модель описывается правилом

$$\phi_3 : (\{C\} \times Y \times A) \rightarrow E,$$

где $\{C\}$ — множество стратегий.

Аналитическое представление процедуры управления может быть описано в следующем виде. Известна входная функция F и функция оценки Q . Процедура выбора из множества возможных вариантов принимаемого решения L в этом случае основывается на применении оценочной функции к входной F , что позволяет определить ее в виде

$$F : (L \times \Omega) \rightarrow Y,$$

где L — множество альтернатив; Ω — множество мер неопределенности; Y — множество возможных результатов.

Тогда функция оценки есть $Q : (L \times Y) \rightarrow E$.

Пусть X — множество возможных решений, X^0 — множество допустимых решений. тогда

$$g : (X \times \Omega) \rightarrow E, \quad \tau : \Omega \rightarrow E,$$

где g — функция упорядочения; τ — функция допустимости перевода $\Omega \rightarrow E$.

Тогда задача нахождения удовлетворительных решений состоит в следующем: для заданного множества $X^0 \subseteq X$ требуется найти такое $x \in X^0$, чтобы для всех $\omega \in \Omega$ выполнялось бы

$$g(x, \omega) \leq \tau(\omega).$$

Решение $x \in X^0$ считается удовлетворительным, если удовлетворяется условие $g \leq \tau$.

Модель автоматизированного процесса поиска решения можно представить в виде следующего кортежа:

$$= \langle T, I, W, D_X, Y_D, A, V, P, X, Q, \Theta, \phi \rangle,$$

где T — время; I — информация о состоянии объекта управления; W — информация о состоянии внешней среды; D_X — область допустимых значений; Y_D — область допустимых решений; A — цели; V — возможности автоматизированной системы поддержки принятия решений; P — сведения о системе предпочтений ЛПР; Q — множество связей между информацией о состоянии объекта управления I и множеством возможных решений X ; Θ — законы функционирования экономического объекта; ϕ — отображение характеристик в процессе поиска ЛПР решений.

Основные виды отображения ϕ характеризуют процессы, связанные с решением и описанием проблемной ситуации S :

а) формирование проблемных состояний S :

$$\phi_1 = \langle T, I, Y_D, W, A, S \rangle;$$

б) классификация ситуаций $\wedge$

$$\phi_2 = \langle S, K_1, K_2, P_1 \rangle,$$

где S — множество состояний проблемы; K_1 — множество классов ситуаций; K_2 — правила классификации; P_1 — система предпочтений в ϕ_2 ;

в) формирование задачи принятия решений (выбор стратегии предпочтения):

$$\phi_3 = \langle S, Q, \Theta R_1, P_2, C \rangle,$$

где R_1 — ресурсы для решения проблемной ситуации; C — стратегии поиска управленческого решения;

г) построение модели поиска решения:

$$\phi_4 = \langle S, K, C, P_3, M \rangle,$$

где M — множество моделей;

д) конструирование процедуры поиска решения:

$$\phi_5 = \langle M, V, P_4, L \rangle,$$

где L — множество алгоритмов решения;

е) формирование варианта решения:

$$\phi_6 = \langle M, L, X, F, P_5 \rangle,$$

где F — критерии оценки полезности решений;

ж) выбор:

$$\phi_7 = \langle M, F, P_6, Y^* \rangle,$$

где Y^* — эффективное решение.

Глава 4. ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОБЛЕМНОЙ СИТУАЦИИ

4.1. Методы описания проблемной ситуации

Для проведения анализа и структуризации проблемной ситуации в экономической системе надо сформулировать необходимое и достаточное описание самой ПС. Если все параметры ПС определены и известны количественные значения ее характеристик, то формирование структуры описания не представляет трудностей. В этом случае мы имеем дело с определенными задачами принятия решений. Сложнее, когда имеет место некоторая неопределенность в состоянии экономической системы и необходимо формулировать ПС в условиях неопределенности. Большинство реальных задач принятия решений относится именно к этому классу. С другой стороны, при использовании различного рода интегрированных систем поддержки процедур принятия решений необходимо определять структуру описания неопределенных ситуаций в системном представлении.

В этих целях обычно используется инструментарий искусственного интеллекта (экспертных информационных систем), аппарат нечетких множеств, метод продукций, методология семантического представления проблемной ситуации. Кратко рассмотрим некоторые основные положения приведенных представлений проблемы.

Структура представления ПС при их представлении в формализованном виде для систем поддержки решений состоит из двух уровней. На *первом уровне* используется система представления типовых ситуаций, на *втором* — уникальных ситуаций, по которым необходимо генерировать уникальные, оригинальные решения.

Формализация проблемы преимущественно в виде специфического семантического представления ПС объясняется еще и тем, что в систему поддержки принятия решения встраивается механизм экспертной поддержки для генерации и синтеза возможных альтернативных решений. Кроме возможности использования в автоматизированной системе представление проблемной ситуации в виде таких семантических описаний позволяет подробно структурировать проблему по целям и факторам развития.

Для представления и работы с такими представлениями ПС, необходимо сформулировать принципы реализации описания ситуации в виде таких семантических нечетких представлений.

Основной проблемой в задачах принятия решений являются исследование и формальное описание проблемных ситуаций, относящихся к *неструктуризованным*, т. е. имеющим неопределенное, нечеткое описание ситуации. Такие задачи обычно характеризуют наиболее важные глобальные изменения в структуре и стратегии функционирования экономических систем и решаются с помощью автоматизированных систем поддержки принятия решений.

Для *вполне определенных* проблемных ситуаций существуют методы формализованного представления в виде четких ориентированных графов (орграфов), для которых используются стандартное графовое представление и операции с графами. Поэтому в литературе существуют определенные методики решения задач, представленных в виде оргграфов. Наиболее сложным и труднореализуемым этапом при решении неструктуризованных задач является их представление в системном виде (в компьютерном виде). Остановимся на одном из методов представления нечетких ситуаций в автоматизированных системах поддержки принятия решений, используемых при решении неструктуризованных управленческих задач¹.

Пусть S — некоторая система, а $\{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ — множество состояний экономической системы. И пусть каждое такое состояние экономической системы s_i определяется набором производственных, технико-технологических, финансовых и экономических характеристик, которые отражаются соответствующими показателями-признаками $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, т. е. состояние экономической системы в каждый момент времени описывается многомерным вектором указанных признаков.

Каждый показатель-признак $y_i, i = 1; m$, в свою очередь, характеризуется некоторой элементарной переменной, имеющей либо четкую количественную или качественную структуру, либо нечеткое описание, которое возможно выразить в виде лингвистической переменной $\langle y_i, T_i, D_i \rangle$, где $T_i = \{t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{ik}\}$ — терм-множество лингвистической переменной в виде набора лингвистических значений признака; D_i — базовое множество признака y_i . Каждое значение T_{ij} описывается нечетким множеством $\tilde{C}_{ij}$ в базовом множестве D_i ².

В этой связи необходимо определить категорию нечеткого состояния, задающую нечеткую ситуацию организационной системы.

Определение 1. *Нечеткой ситуацией* экономической системы будем называть некоторое нечеткое множество признаков описания атрибутов состояния, определяемое как проблемная ситуация. Такое множество характеризуется набором признаков в виде:

¹ Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. — М.: Наука, 1990. 272 с.; Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. — М.: Наука, 1986. 312 с.; Шапиро Д. И. Принятие решений в системах организационного управления: использование расплывчатых категорий. — М.: Энергоатомиздат, 1983. 184 с.

² Афоничкин А. И., Матвеев А. А., Макаркин Н. П., Сажин Ю. В. Системы поддержки в теории и практике оценки управленческих решений; Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. — Рига: Зинатне, 1990. 184 с., Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой; Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова; Шапиро Д. И. Принятие решений в системах организационного управления: использование расплывчатых категорий; Шенк Р. Обработка концептуальной информации: Пер. с англ. — М.: Энергия, 1980. 360 с.

$$\tilde{s}_i = \{ \langle \mu_{sj}(d) \mid d \rangle, d \in D_i \}$$

где

$$\mu_{sj}(d) = \{ \langle \mu_{msj}(y)(T_{ij}) \mid T_{ij} \rangle, j \in J, i \in I \}.$$

Пример 1. Пусть y_1 — объем материалов некоторой номенклатуры на складе, y_2 — расход данного материала на производственную программу, y_3 — скорость поставок от поставщиков данной номенклатуры.

Тогда определим лингвистическую переменную как $T_{ij} = (t_1 - \text{большая}, t_2 - \text{средняя}, t_3 - \text{малая}), \mu = 0 \dots 1$.

Описание приведенной нечеткой ситуации будет таким:

$$S_i = \{ \langle (0,1/t_0), (0,8/t_2), (0,4/t_3) / y_1 \rangle, \langle (0,6/t_1), (0,3/t_2), (0,8/t_3) / y_2 \rangle, \langle (0,3/t_1), (0,6/t_2), (0,1/t_3) / y_3 \rangle \}.$$

Рассмотрим формальные процедуры изменения и пополнения ситуаций, а также работы с ними в системе.

Процедура пополнения ситуации. При изменении ситуации возникает необходимость в периодическом пополнении формальной структуры, отображающей данную ситуацию.

Обозначим процедуру пополнения ситуации через u , тогда считаем, что имеет место отображение типа $u : z \rightarrow z'$, где z — исходное состояние некоторой проблемной ситуации, z' — пополненная ситуация (на величину Δz), так что $z \in z'$, $z' = z \cup \Delta z$, где Δz — пополнение. Тогда процедура пополнения будет происходить в несколько этапов:

1. Выделение в пополняемом блоке Δz главного элемента E^0 .
2. Выделение в пополняемом блоке Δz ключевых отношений R^0 .
3. Поиск в структуре z главного элемента и ключевых отношений.
4. Если элемент E^0 найден, то необходимо:
 - а) склеить вершину $E^0(\Delta z)$ и $E^0(z)$, перейти к п. 5;
 - иначе
 - б) построить структуру нового несвязанного подграфа, перейти на п. 9.
5. Проведение анализа склеенной вершины $E^0(z)$ и связывающих его ключевых R^0 , включающих отношения R , со связанными вершинами $E_j^i(z)$, которые связаны с $E^i(z)$.
6. Вычисление цепочки $E^0(z) \rightarrow E_k^i(z)$.
7. Проведение анализа отношений и обобщение, если анализ адекватен, т. е. цепочка $E^0(\Delta z) \rightarrow E_p^j(\Delta z)$. Причем данное соотношение заносится в список обобщений, т. е.

$$E^0 \rightarrow E_k^j \mid \subset (E^0 \rightarrow E_p^j) \perp \Delta z.$$

8. Заменить в структуре z полученные ранее цепочки $\subset (E^0 \rightarrow E_k^j) \perp \Delta z$ на соответствующие из $\Delta z - \subset (E^0 \rightarrow E_p^j) \perp \Delta z$.
9. Конец.

Алгоритм работы с представлениями. Рассмотрим вопросы реализации вычислений на семантических сетях, которыми описываются нечеткие графы. Для получения ответов на представленные пользователем запросы или при пополнении информационного фонда системы проводится анализ аналогичных образцов в БСС (т. е. сравнение поискового запроса с существующими в базе на полную или частичную сопоставимость).

В данном случае удобно воспользоваться методом изоморфизма графов, так как в общем случае информация представлена в виде семантической сети. Обобщая операции нечеткого включения, покрытия и разбиения, сформулируем метод изоморфизма. Деревья $T_1 = (V_1, E_1)$ и $T_2 = (V_2, E_2)$ изоморфны, когда между их ребрами можно установить взаимно-однозначное соответствие, сохраняющее отношение смежности $V_1 \leftrightarrow V_2, E_1 \leftrightarrow E_2$ инцидентор $P(e, v, w)$ (инцидентор $P(e, v, w)$ принимает значение 1 только тогда, когда ребро e инцидентно вершинам v, w) такой, что если справедливо выражение

$$(\forall v, w \in V_1)(\forall v, w \in V_2)(\forall e \in E_1)(\forall e \in E_2)(v \leftrightarrow v^1 \otimes w \leftrightarrow w^1 \otimes e \leftrightarrow e^1 \rightarrow \\ \rightarrow [p(e^1, v^1, w^1)]), \text{ то } T_1 \approx T_2.$$

Матрицы смежности могут быть переведены одна в другую перестановкой рядов (строк и столбцов).

Для анализа изоморфизма подграфов можно воспользоваться алгоритмами Ахо–Хопркрофта–Ульмана, Земляченко или Корнеля–Готтлиба.¹ Процедуры представления ситуаций в виде семантических сетей рассмотрены ниже.

Распространенность подхода к представлению ситуаций в информационном фонде системы и конкретно данного модуля в виде *семантических сетей* (СС) объясняется тем, что СС господствуют практически во всех интеллектуальных информационных системах. В большинстве случаев в таких системах осуществляется переход от текстового описания к тому или иному формализованному представлению содержания (смысла) данной ситуации.

Причем глубина проникновения в смысл зависит как от самого вида представления, например гипертекста или семантической сети, так и от требований системы и может быть различной².

Определение 2. Формализованное представление содержания, изображающее смысл информации, называется семантическим представлением СемП) и определяется графом, у которого вершины помечены символами семантических единиц (СЕ), а дуги — символами семантических отношений (зависимостей) СЗ.

¹ Евстигнеев В. А., Касьянов В. Н. Алгоритмы обработки деревьев. — Новосибирск: Наука, Сибирское отд., 1990. 208 с.

² Мельчук И. А. Об одной модели понимания речи (Семантическая теория Р. Шенка). Ч. 1 // Научно-техническая информация. Сер. 2. 1974. № 6. — С. 35–46; Шенк Р. Обработка концептуальной информации / Пер. с англ. — М.: Энергия, 1980. 360 с.

В этой связи необходимо предусмотреть формальные средства для построения СемП высказываний и их формальные правила для сопоставления. В литературе существует подробный анализ форм и методов получения таких средств.¹

Проведенный анализ показывает наибольшую гибкость и универсальность в формализмах представления Р. Шенка. Основным видом представления информации является здесь некоторая концептуализация, состоящая из семантических единиц, соединенных семантическими зависимостями. Одна или несколько концептуализаций образуют информационную структуру, которая называется фреймом. Совокупность фиксированных фреймов образует семантическую сеть. В упрощенном виде фрейм представляет собой набор концептуализаций из пары семантических единиц, связанных типовой семантической зависимостью, т. е.

$$K_j = (CE_j \text{ CЗ}_i \text{ CE}_k).$$

В качестве отдельной семантической единицы может выступать не только отдельная CE, но и другая концептуализация, т. е.

$$K_t = (CE_v \text{ CЗ}_d \text{ K}_j) = (CE_v \text{ CЗ}_d (CE_j \text{ CЗ}_i \text{ CE}_k)).$$

При этом K_j — есть простая, а K_t — составная (сложная) концептуализация.

Фрейм формально определяется совокупностью элементарных и составных концептуализаций:

$$\Phi_R = K_1^R \cdot K_2^R \cdot \dots \cdot K_N^R = \bigcup_{j=1}^n K_j^R.$$

Однако в структуре фрейма всегда должен присутствовать лишь один экземпляр простой концептуализации, поэтому уточненная структура фрейма предполагает исключение из состава Φ_R составляющих, имеющих несколько представителей (аналогов, но не синонимов) элементов структуры. То есть из состава Φ_R исключаются:

$$f = \bigcap_{j=1}^n K_j^R.$$

Если количество эквивалентных экземпляров в структуре фрейма равно L , то убирается $(L - 1)$ экземпляр и в структуре остается один.

Тогда фрейм задается значением

$$\Phi_R^k = \Phi_R^{k-1} / f = \bigcup_{j=1}^n K_j^R / (L-1) \bigcap_{j=1}^n K_j^R.$$

Совокупность взаимосвязанных фреймов задает семантическую сеть:

$$CC = \bigcup_{R=1}^n \Phi_R \bigcup_{R=1}^n (\bigcup_{j=1}^n K_j^R / (L-1) \bigcap_{j=1}^n K_j^R).$$

¹Кокун Л. М. Двухуровневое представление семантической информации для целей речевой коммуникации с роботом // Эвристические модели в психологии и социологии. — Киев, 1974. — С. 34–43; Мельчук И. А. Об одной модели понимания речи (Семантическая теория Р. Шенка). Ч. 1; Шенк Р. Обработка концептуальной информации.

Семантические зависимости подразделяются на три сорта.¹ Приведем здесь лишь обобщенное представление о возможности формализованного представления и анализа содержания проблемной ситуации в экономических системах:

- 1) зависимости общих типов (СЗ(О));
- 2) зависимости частных типов (уточнители)(СЗ(У));
- 3) модально-временные зависимости (модификаторы)(СЗ(М)).

Одна СЗ может иметь зависимости нескольких сортов и нескольких видов одного сорта. Рассмотрим структуру концептуализаций.

1. *Семантические единицы*. По способу построения СЕ делятся на простые и сложные.

Простые (элементарные) СЕ — это элементы, не покрываемые никакими естественными словами. Перечень элементарных СЕ (семы) приведен ниже:

- ATRANS — принадлежность, подчинение;
 - MTRANS — «перемещать» информацию;
 - PTRANS — «перемещать» физический объект;
 - PROPEL — прилагать силу к объекту;
 - GRASP — захватывать объект;
 - GO — перемещаться
- и др.

Сложные СЕ представляют собой элементы, равные по своему смысловому содержанию значениям слов, и изображаются в СемП означающими этих слов. В структуре сложных СЕ выделяют 4 класса:

- имена объектов — РР (семантический аналог существительного);
- имена предикатов — АСТ (семантический аналог глагола);
- имена дескрипций объектов — РА (семантический аналог прилагательного — атрибут, свойство);
- имена дескрипций предикатов, которые, в свою очередь, делятся на:
 - АА — модификация (изменение) свойств АСТ;
 - Т — время;
 - ЛОС — местоположение.

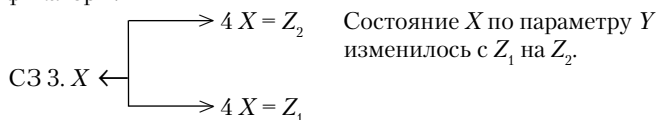
2. *Семантические зависимости*. В аппарате формализации смысловых характеристик Р. Шенка выделяются десять общих типов СЗ. Для их представления применяются графы с различной структурой и семантической нагрузкой, которые разделяются при их описании различными видами отношений и представлены графически разными стрелками. Список основных СЗ приведен ниже.

Исключая из общего списка синтаксические аналоги некоторых СЗ (СЗ 35–37)¹, рассмотрим основные типы, образующие базисный набор СЗ:

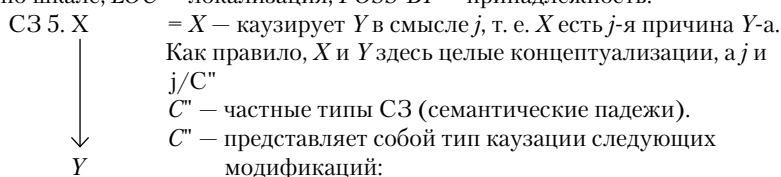
¹ Мельчук И. А. Об одной модели понимания речи (Семантическая теория Р. Шенка). Ч. 1; Шенк Р. Обработка концептуальной информации.

СЗ 1. $X \Leftrightarrow Y$ — определяется как X есть субъект Y -а, т. е. X — основной актанта предиката Y ($\Leftrightarrow$ — есть отношение между деятелем и действием).

СЗ 2. $X \rightarrow Y$ — определяется как Y — атрибут, предиктируемый X -у, т. е. X — носитель свойства Y или элемент класса Y . СЗ 2 может иметь символы — модификаторы.



СЗ 4. $X \leftarrow Y$ — определяется как Y — периферийный актанта X -а, определяемый как «семантический падеж»; O — объект; I — инструмент; VAL — значение X по шкале; LOC — локализация; $POSS-BY$ — принадлежность.



$C'' = r$ — результирующая (состояние объекта изменилось);

$C'' = E$ — потенциальная (обуславливающая);

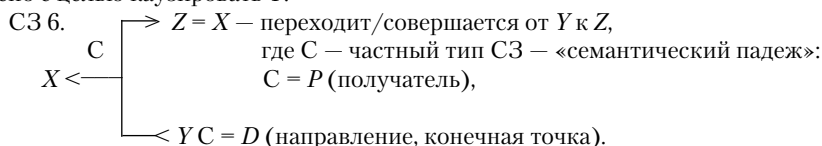
$C'' = P$ — причинная (волевая, совершение действия);

$j = J$ — оправдывать (если X , то разумно ожидать Y);

$j = P$ — быть резонансом (X — резонанс Y -а);

$j = O$ — быть предпосылкой (когда X , должно быть Y);

$j = U$ — ненамеренно каузировать (X — причина Y), однако X не было совершено с целью каузировать Y .



Модификаторы семантических зависимостей характеризуют временную отнесенность и модальность действия (процесса, состояния).

Символы группируются в 4 категории.

А. Статус (утвердительный, отрицательный, вопросительный).

Б. Потенция (реальность, возможность).

В. Время (настоящее, общее, прошедшее, будущее, абитулис («обычное»)).

Г. Фаза (переход из одного состояния в другое, начало, прекращение, продолжение).

3. Концептуальные правила.

Определение 3. Концептуализация (K) — есть элементарное утверждение, являющееся автономным фрагментом СемП. Иначе говоря, K — это семантический аналог предложения.

Утверждение 1. Концептуализации образуют только базовый набор СЗ.¹

Утверждение 2. Концептуализации строятся только из следующих элемен-

тов:

- Деятель (понятие исполнителя АСТа).
- АСТ (действие, производимое по отношению к объекту).
- Объект (вещь, над которой производится действие).
- Реципиент (получатель объекта в результате АСТа).
- Направление (местоположение, к которому направлен АСТ).
- Состояние (состояние, в котором находится объект).

Список правил построения концептуализаций состоит из следующих способов сочетания концептуальных категорий (СЗ и СЕ).

1. $PP \leftrightarrow АСТ$ — некоторые PP могут производить действия.

2. $PP \leftrightarrow PA = PP$ (и некоторые концептуализации) могут описываться через какое-либо свойство.

3. $АСТ \leftarrow PP = АСТы$ имеют объекты.

4. $АСТ \leftarrow \begin{matrix} D \\ \rightarrow LOC = АСТы \text{ имеют направление.} \\ < LOC \end{matrix}$

5. $АСТ \leftarrow \begin{matrix} R \\ \rightarrow PP = АСТы \text{ имеют реципиентов.} \\ < PP \end{matrix}$

6. $АСТ \leftarrow \begin{matrix} O \\ K = АСТы \text{ могут иметь концептуализации в качестве объекта.} \end{matrix}$

7. $АСТ \leftarrow \begin{matrix} I \\ K = АСТы \text{ могут иметь концептуализации в качестве инструмента.} \end{matrix}$

8. $\leftarrow \begin{matrix} \rightarrow PP = \text{концептуализации могут иметь результатом} \\ \text{изменения состояний } PP. \\ < PP \end{matrix}$

9. $PP_1 \leftrightarrow PP_2 = PP_1$ эквивалентен PP_2 или является частным случаем PP_2 .

10. $АСТ = АСТы$ могут варьировать вдоль определенных изменений.

↓
АА

¹Мельчук И. А. Об одной модели понимания речи (Семантическая теория Р. Шенка) Ч. 1.

Аналогичный способ представления информации о проблемной ситуации может быть использован в автоматизированных системах поддержки принятия решений, где проблема представляется в виде семантических сетей, в виде системы СемП. Такие информационно-технологические системы относятся к классу интеллектуальных информационных систем и позволяют автоматизировать не только процессы обобщения информации, но и ее семантическую обработку.

При этом можно заметить следующее:

1. Проблемная ситуация может быть представлена в виде некоторой структуры семантических представлений и концептуализаций, связанных соответствующими базовыми СЗ и построенных с помощью концептуальных правил.
2. Проблемную ситуацию, представленную в виде семантической сети, можно определить в виде некоторой семантической информационной единицы, которую можно оценить через меру качества информации.
3. Динамику изменения проблемной ситуации или альтернативного решения можно отслеживать в дискретные моменты времени через изменение критерия качества информации.

Структуризация проблемной ситуации состоит в исследовании и анализе структуры элементов проблемы, установлении их взаимосвязи и связи решаемой проблемы с другими проблемами, предшествующими данной, и т. д. То есть исходная проблема разбивается на составные части, систематизируется и упорядочивается.

Процедура структуризации. Процедура структуризации проблемы состоит из следующих этапов:

1. Формирование перечня проблем $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, сопутствующих решению возникшей проблемной ситуации.
2. Упорядочивание проблем по вложенности (причина $\rightarrow$ следствие) с использованием для этого метода парного сравнения.
3. Формирование матрицы смежности (табл. 4.1).

В строках матрицы смежности элементы матрицы, значения которых соответствуют значению 1, характеризуют зависимость j -й проблемы от k -й, т. е., например, проблема X_1 есть причина проблем X_3 и X_4 , проблема X_2 — причина проблем X_1 и X_5 и т. д.

Таблица 4.1. Матрица смежности

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
X_1	1	0	1	1	0
X_2	1	1	0	0	1
X_3	0	1	1	0	0
X_4	0	1	1	1	0
X_5	1	1	1	1	1

Анализируя столбцы матрицы, можно сделать вывод, что, например, решению проблемы X_2 должно предшествовать решение проблем X_3 , X_4 и X_5 , решению проблемы X_4 — решение X_1 и X_5 .

4. На основании матрицы смежности строится ориентированный граф проблем, где причины (строки) определяют следствия (столбцы).

5. С помощью специальных алгоритмов матрица (граф) может быть формально преобразована в иерархический граф, структура которого дает большую информацию об упорядочении проблем при решении главной.

Хотя последовательность причинно-следственных цепочек (сценариев проблемы) при анализе проблемы другими экспертами может быть и несколько иной, все же структуризация дает толчок к большему пониманию проблемы. Одной из важных задач процедуры анализа проблемной ситуации является прогнозирование ее развития. В этом случае при формировании модели прогноза развития проблемы могут быть использованы различные формальные процедуры: методы структуризации, экстраполяции, экономико-математические методы, разработки сценариев и др.

При описании проблемной ситуации в качестве типовых разделов аналитического описания обычно используют следующие элементы структуры аналитического отчета: сущность проблемы, возникновение и развитие ПС, основные факторы и условия ПС, актуальность и срочность решения проблемы, степень полноты и достоверности информации.

4.2. Процедуры анализа проблемной ситуации

Принятые управляющие решения должны быть оптимальными и обоснованными по всем аспектам организационно-экономических факторов объекта управления, например на организационном уровне управления, на техническом, технологическом, функциональных уровнях управления и других сферах взаимодействия хозяйствующего субъекта с внешней средой. Однако с увеличением круга решаемых задач многократно увеличивается информационный поток, сопровождающий задачи управления. Каждая такая задача предполагает адекватную совокупность необходимой для принятия решения информации. Анализ удельного веса операций в разрезе функций управления показывает, что наибольший объем операций в экономических объектах приходится на учетно-аналитические функции (51,5% для предприятий) в ущерб другим.

В современных условиях хозяйствования все большую роль начинают играть новые функции управления, в частности маркетинг, внешнеторговая деятельность, инвестиционная деятельность, прогнозирование и др., в то же время анализ исследования деятельности и решаемых ЛПР задач показывает, что от 50 до 80% его времени затрачивается на несвойственные ему функции.

Проблемные ситуации в экономических системах возникают обычно из-за рассогласования параметров хозяйствующего субъекта. Наличие в системе

различных видов параметров ведет к появлению разных типов рассогласования и соответственно к различным типам решения ПС.

Структуризация проблемы предполагает исследование и анализ структуры проблемы, установление элементов проблемы и связей между ними, определение зависимости решаемой проблемы от других и т. д. При этом исходная проблема разбивается на составные части и упорядочивается.

Таким образом, для анализа ПС необходимо дать подробное описание ПС. Структура процедуры анализа ПС включает в себя следующие этапы¹:

- 1) определение наличия существования проблемы, т. е. определение действительности проблемы (действительная или мнимая проблема);
- 2) определение новизны проблемы (для формирования библиотеки прецедентов управленческих решений в задачах принятия решений);
- 3) установление причин возникновения проблемной ситуации;
- 4) установление связи с другими проблемами;
- 5) определение степени полноты, ценности, точности, достоверности и других характеристик, задающих качество информации о проблемной ситуации;
- 6) определение возможности разрешения проблемной ситуации в конкретных условиях и ограничениях конкретным ЛПР.

Если информация по проблемной ситуации S_0 неполна, то ситуация S_0 доопределяется, т. е. формулируются ее альтернативы. При этом должна быть обеспечена полнота альтернатив (обычно к n имеющимся гипотезам добавляется еще одна, охватывающая все остальные возможные). Далее каждой гипотезе из множества альтернатив либо приписывают некоторую вероятностную величину (если имеется достаточная статистическая выборка), либо формируют субъективные вероятности (мнение ЛПР о шансах появления данной гипотезы).

При этом субъективные вероятности могут быть заданы либо непосредственной оценкой, либо на основании парных сравнений относительно достоверности их свершения. Одним из методов расчета субъективной вероятности является подсчет относительного числа голосов, поданных за ситуацию S_i :

$$P(S_j) = \sum_{k=1}^n x_{jk} / \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n x_{jk}.$$

При этом цели, которые достигаются при принятии решения, также могут быть охарактеризованы специальными коэффициентами, например коэффициентом важности данной цели, который может быть задан либо непосредственно, либо методом парного сравнения.

¹ Дорохов А. А. Теория принятия оперативных решений; Евланов Л. Г. Основы теории принятия решений; Евланов Л. Г. Теория и практика принятия решений; Евстигнеев С. А. Анализ и проектирование подготовки, обоснования и принятия решений; Замах В. П. Выработка управленческих решений на предприятии; Индюранас А. В. Системный анализ и процедуры принятия решений; Панченко Е. Г. Теория принятия управленческих решений.

В настоящее время для целей анализа проблемной ситуации используются *методы системного анализа*.

В качестве информационного обеспечения процедуры анализа могут быть использованы следующие виды информации: нормативно-методическая, отчетная, статистическая, результаты наблюдений, результаты научных исследований, мнения экспертов, информация по проведенным экспериментам и др.

Рассмотрим основные этапы *анализа ПС*.

1. Проверить, существует ли проблемная ситуация, можно с помощью анализа ответов на вопрос что даст объекту решение данной проблемы (либо сейчас, либо в будущем). Если ответ на этот вопрос положителен, то проблема существует.

2. *Этап, на котором анализируется степень новизны проблемы*, необходим для определения прецедентов или аналогий для формирования библиотеки стандартных ситуаций. Это облегчает работу ЛПР по принятию решения, добавляя опыт решения существовавших на экономическом объекте проблемных ситуаций. На основе полного анализа эффективности решения проблемной ситуации создаются новое знание и совокупность фактов по решению задач-аналогов. Кроме того, анализ проблем позволяет выявить ошибки и недостаточную компетентность ЛПР, установить мотивы поведения ЛПР и причины принятия конкретных решений.

Анализ прошлого опыта отражается на экономическом объекте в организационно-распорядительной документации. Поэтому анализ прецедентов осуществляется на основе обследования документального потока. Однако в распорядительных документах, циркулирующих в экономической системе, обычно ПС описывается достаточно слабо.

Ситуации, связанные с наличием возникшей проблемы и возникающие в результате ее развития, почти не фиксируются. В них обычно не рассматриваются альтернативные варианты, а фиксируется всего лишь факт наличия ПС. В этих документах не обосновываются ни причины ее возникновения, ни побудительные мотивы действий, принятых для решения проблемы. Поэтому по распорядительным документам можно искать лишь наличие ПС.

Реализация библиотеки прецедентов задач ПР может помочь этому, но существует ряд трудностей *формального* и *психологического* характера. Психологические трудности видятся в том, что ПС формулируется как недостаток, у которого есть конкретный автор (виновник). Анализ ПС позволяет выявить ошибки и недостатки компетентности ЛПР, мотивы поведения и причины принятия конкретных решений. Однако это не должно служить основанием для отказа от предложения накапливать информацию о задачах ПР.

3. Установление *причин возникновения ПС* позволяет глубже понять закономерности функционирования и развития ПС, вскрыть существующие факторы, влияющие на достижения цели.

4. Этому же способствует и *этап выявления взаимосвязи* с другими проблемами. Обычно говорят, что проблема возникает вдруг, неожиданно, хотя на самом деле были диагностические признаки, проявляющиеся в экономической среде,

но либо они не были замечены, либо неизвестна их взаимосвязь с другими проблемами, либо ЛПР неизвестны закономерности исследуемых процессов.

Обычно оказывается, что этому способствует развитие другой проблемы, связанной с текущей. Поэтому важно осуществлять процедуры непрерывного прогнозирования, для чего необходимы информация о текущем состоянии проблемы, условиях развития и прогнозы развития предприятия при различных состояниях внешней среды.

Это способствует снижению количества оперативных (быстрых) и недостаточных проработанных решений.

Прогнозирование может осуществляться следующими способами:

- а) путем анализа формальной модели;
- б) посредством экстраполяции статистических данных (при отсутствии модели);
- в) с помощью экспертных и других методов решения нечетких проблем (при отсутствии модели и статистических данных).

Для описания общей картины развития событий при экспертных методах используется процедура написания сценария. Сценарий позволяет выделить характерные события в структуре ПС анализа и опросе субъектов как внутри, так и вне структуры ПС.

Анализ ПС позволяет выявить ее роль и место в группе взаимосвязанных проблем и их взаимоувязку. События при этом классифицируются на главные, второстепенные, общественные, частные, срочные и т. д. и на этой основе обычно формулируют граф или дерево проблем.

5. На этапе *определения характеристик ПС* разворачиваются описание таких характеристик, как точность, полнота, достоверность описания ПС. Так, например, характеристика полноты получается разворачиванием описания проблемы по определенной атрибутивной системе, т. е. необходимо четко ответить на следующие вопросы: что, где, когда, кто, почему, с какой целью, при каких условиях. В этом случае, если имеется четкая, вполне определенная ПС, используют обычно типовое описание, т. е. ряд типовых параметров для характеристики ситуаций, описанных ранее.

При *недостаточной полноте описания ПС* у ЛПР есть два варианта последующих действий: либо искать недостающую информацию, затрачивая при этом дополнительные время и ресурсы, либо принимать решение в условиях имеющейся неопределенности.

Формирование множества альтернативных ситуаций снижает неопределенность ПС, так как ясным становится полный перечень ситуаций, появление которых можно оценить в виде вероятностной величины. Степень разрешимости проблемной ситуации определяется на ее начальной стадии, так как, возможно, ПС такова, что не имеет смысла заниматься ее решением, либо она неразрешима в данных условиях при данных ограничениях и данном ЛПР.

Описание четкой проблемной ситуации. При формировании описания четкой, вполне определенной проблемной ситуации обычно используют типовое

описание проблемной ситуации, задавая при этом ряд параметров для выявления характеристик содержания и структуры ПС, а также сопутствующих дополнительных атрибутов. Совокупность характеристик, отражающих ответы на приведенные в предыдущем разделе вопросы по оценке ПС, определяет структуру (изложение) описания ПС и позволяет достаточно четко ее детализировать. В качестве таких типовых элементов описания ПС, как уже говорилось ранее, обычно используются следующие атрибуты:

- сущность проблемной ситуации;
- возникновение и развитие проблемной ситуации;
- основные факторы и условия существования проблемной ситуации;
- актуальность и срочность решения проблемной ситуации;
- степень полноты и достоверность проблемной ситуации.

Итак, процедура анализа ПС предполагает следующие требования к изложению структуры ПС и ее описанию:

- 1) описание ПС должно быть емким, кратким, аналитичным;
- 2) необходимо дать описание условий возникновения и существования ПС по следующей структуре: место, время, сущность (т. е. необходимо ответить на вопросы: где, что, когда);
- 3) необходимо описать комплекс условий и провести анализ причин возникновения и развития ПС (ответив на вопросы: при каких условиях, почему);
- 4) необходимо определить принадлежность проблемы (кто решает, в чьей компетенции находится решение данной проблемы);
- 5) необходимо оценить актуальность, срочность и новизну проблемы (в каких целях решается ПС, когда необходимо начинать решать, была ли аналогичная ПС раньше);
- 6) необходимо определить связь данной проблемы с другими (на что влияет данная проблема в процессе ее развития);
- 7) необходимо оценить степень полноты и достоверности информации о ПС (насколько полны и точны данные);
- 8) необходимо оценить возможность решения проблем с учетом существования условий;
- 9) описание и анализ ПС необходимо заканчивать краткой и емкой формулировкой ПС.

Для того чтобы построить такое описание проблемы, требуется проведение детального обследования, в котором выделяют 3 этапа:

- Организация процедуры.
- Подготовка к ее проведению.
- Рабочее обследование.

На первом этапе (организация процедуры обследования) определяются общие цели и задачи проведения работ, порядок создания рабочей группы по обследованию и описанию системы (функции, обязанности, права, ответствен-

ность, подчиненность, состав, взаимодействие с системой), последовательность действий рабочей группы, форма и объем, порядок согласования, утверждения и предъявления документов, в которых зафиксированы результаты обследования, порядок завершения обследования.

На втором, подготовительном этапе детализируются и конкретизируются цели обследования и описания системы, определяются степень детализации и объем описания системы, обеспечивающий реализацию системы в целом.

Третий этап рабочего обследования включает в себя ряд последовательных процедур:

1. Выделение и описание целей системы:

- а) предварительный прогноз, формирование, описание и анализ сценария внешних и внутренних условий функционирования системы;
- б) выявление и описание целей системы, анализ и декомпозиция (описание целей), выбор оснований для декомпозиции, выбор последовательности применения и обоснование декомпозиции целей — временные, функциональные, структурные и другие критерии, построение графоцелей в целом.

2. Обследование и описание:

- а) элементов административной структуры и их взаимосвязей;
- б) технологической структуры производства или исследуемого процесса;
- в) структуры материальных потоков (формируется отображение моделей процессов в виде блок-схем, набора показателей состояния элементов, ее подсистем, системы в целом и моделей ограничений);
- г) информационной структуры системы управления (описываются состав и характер информации, информационные потоки в структуре управления и др.).

3. Обследование и описание декомпозиции системы функционирования на локальные механизмы:

- а) декомпозиция на подсистему;
- б) временная декомпозиция (оперативный календарь долгосрочного управления);
- в) функциональная декомпозиция (по функциям управления: прогноз, планирование, учет, контроль, оценка, стимулирование и др.);
- г) выделение локальных подсистем и формирование их взаимосвязей.

4. Обслуживание и описание локальных подсистем: планирование, нормирование, учет, анализ, стимулирование и др.

5. Описание ограничений на изменение локальных механизмов функционирования (подсистем).

Построение описания экономической системы и структуры проблемной ситуации должно быть оценено с помощью некоторых методов измерения характеристик системы и критериев эффективности ее функционирования.

Рассмотрим более подробно вопросы измерения и построения количественных и качественных оценок характеристик.

4.3. Задача измерения характеристик проблемной ситуации

Методологически понятие измерения связано с тем, что каждое измерение предполагает наличие некоторого наблюдаемого свойства измеряемого предмета, а эмпирическая процедура наблюдения необходима для установления числовых значений с помощью шкал измерительных процедур. Таким образом, основными элементами измерения являются, с одной стороны, наблюдаемые свойства (качества) или мера (количество) измеряемых элементов, а с другой — определение этих качеств или количеств, связанных с конкретными объективно полученными числами или упорядочением этих элементов. Такие процедуры нумерации и упорядочения обычно обозначаются термином «шкалирование» процесса. При этом под шкалированием подразумевается совокупность методов, процедур и технологий, позволяющих построить метрические и неметрические шкалы, по которым можно измерить и оценить параметры процесса или объекта.

Рассмотрим формализацию задачи измерения свойств и структуры проблемной ситуации как измеряемых объектов.

Задача измерения объектов, согласно теории измерений¹, формулируется следующим образом. На множестве J задана шкала $\{Q, J, \Theta\}$, сопоставляющая каждому элементу $i \in J$ отрезок числовой прямой $\Theta \subseteq R^+$. Тройка $\{Q, J, \Theta\}$ представляет собой шкалу измерения. Если Q есть гомоморфизм системы J с соотношениями между i в систему R^+ с отношениями над (v) , то образы элементов $i \in J - q(i)$ — суть шкальные значения. Исходя из числовых отношений между шкальными значениями $v = q(i)$ можно делать выводы о выполнимости отношений между объектами, т. е. элементы $i \in J$ находятся в отношении L , когда выполняются соответствующие отношения между шкальными значениями:

$$\{q(i_1), q(i_2), \dots, q(i_j)\}.$$

Чем богаче структура измеряемого свойства, тем больше шкальные значения говорят о нем.

Критерий качества информации задает на множестве J множество оценок элементов i :

$$Q: J \rightarrow \Theta, \Theta \subseteq R^+.$$

На базе множества Θ производится выбор i для M^* . Считаем, что задано правило выбора, по которому из любого множества $\alpha \subseteq \Theta$ выделяется подмно-

¹Елтаренко Е. А. Элементы теории измерений. — М.: МИФИ, 1979. 39 с.; Пфанцagl И. Теория измерений. — М.: Мир, 1976. 248 с.; Станулов Н. Логически основы на измеримости на семантичната информация // Проблеми на техническата кибернетика. 1976. № 3. С. 58–67; Сунтес П., Зиннес И. Основы теории измерений // Психологические измерения. — М., 1967. — С. 9–110.

жество $\rho(\Theta) \subseteq \Theta$ и ставится в соответствие каждому допустимому $M \subseteq J$ подмножество $k(M)$ элементов $i \in J$ с лучшими оценками объектов измерения:

$$k(M) = Q^{-1}(\rho(\Theta(M)) \cup M).$$

Считаем, что множество M конечно:

$$(M = \{M \subseteq J \mid \text{card } M < Z < \infty\}).$$

Пусть задано бинарное, транзитивное и антирефлексивное отношение $R \subseteq Q^2$ на множестве оценок Θ , тогда $\rho(\Theta)$ выделяет из любого подмножества $\Theta \subseteq \Theta$ его недоминируемые оценки элементов $i \in M$;

$$\rho(\Theta) = \max \Theta = \{v^* \in \Theta \mid \exists v \in \Theta \setminus \{v^*\} : v R v^*\}$$

и модель выбора задается кортежем $\langle Q, J, \Theta, \rho \rangle$.

Исходя из особенности построения критерия измерения правило выбора $\rho(\Theta)$ можно задать следующим образом. Пусть ρ — правило выбора, выделяющее из множества M те элементы $i, i \in M$, у которых оценки являются недоминируемыми, т. е. $\rho = (\rho(i))$.

Рациональное использование информации, полученной либо в результате анализа, либо от экспертов, возможно при условии ее формального преобразования к виду, удобному для дальнейшего анализа, направленного на подготовку и принятие решений.

Возможности формализации первичной информации зависят от специфических особенностей исследуемого объекта, надежности и полноты имеющихся данных, уровня принятия решения. Форма представления данных зависит и от принятого критерия, на выбор которого, в свою очередь, существенное влияние оказывает специфика исследуемой проблемы.

Формализация информации, полученной от экспертов, должна быть направлена на подготовку решения таких технико-экономических и хозяйственных задач, которые не могут быть в полной мере описаны математически, поскольку являются «слабоструктуризованными», т. е. содержат неопределенности, связанные не только с измерением, но и с самим характером исследуемых целей, средств их достижения и внешних условий.

При анализе перспектив развития проблемы необходимо не только представить информацию в виде косвенных оценок, но часть информации, не поддающуюся количественному измерению, следует выразить с помощью экспертных оценок и качественных факторов, на базе которых возможно формализовать эту информацию.

Если эксперт в состоянии сравнить и оценить возможные варианты действий, приписав каждому из них количественную меру, значит, сформулирована определенная система предпочтений. В зависимости от того, по какой шкале могут быть заданы эти предпочтения, экспертные оценки содержат больший или меньший объем информации и обладают различной способностью к формализации.

Исследуемые объекты или явления можно опознавать или различать на основе признаков или факторов. Фактор — это множество, состоящее по крайней мере из двух элементов, отражающих различные уровни некоторых подлежащих рассмотрению величин. Уровень одних факторов может быть выражен количественно (в рублях, процентах, килограммах и т. д.) — такие факторы называются количественными, уровень других нельзя выразить с помощью числа, их называют качественными.

Факторы условно разделяют на дискретные и непрерывные. Дискретными являются факторы с определенным, обычно небольшим, числом уровней. Факторы, уровни которых рассматриваются как образующие непрерывное множество, называют непрерывными. В зависимости от целей и возможностей анализа одни и те же факторы могут трактоваться или как дискретные, или как непрерывные.

Понятие шкалы измерения тесно связано с общей теорией измерения, в частности с проблемой формализации¹. Для изучения шкал и метрик, используемых при измерении различного рода величин (в нашем случае параметры и характеристики проблемной ситуации и критерии эффективности) могут быть использованы неметрические и метрические шкалы.

При использовании методов измерений и соответствующих шкал для измерения характеристик ситуаций и экономических процессов и явлений необходимо определить тип используемой шкалы, особенности измерения на этой шкале и интерпретацию результатов измерения. В этой связи вначале необходимо остановиться на классификации используемых шкал.

Классификация типов шкал в рамках формальной теории измерения проводится в зависимости от того, в каком объеме трактуется понятие измерения. На базе введенных понятий, таких как эмпирические операции и математическая структура шкалы, в теории измерений различают 5 основных типов шкал:

- *номинальные* (классификационные) шкалы, или шкалы *наименований* (по ним устанавливается принадлежность объекта к какому-либо классу). Значениями такой шкалы могут быть оценки качественных признаков в виде — да/нет (есть признак или его нет);
- *ординальные* (шкалы порядка) определяют интенсивность признака без указания количества (значения типа — больше/меньше, хуже/лучше);
- *интервальные* (шкалы интервалов) проводят измерение в рамках установленного масштаба и точки отсчета;
- шкалы *отношений* (измеряемые объекты характеризуются масштабом);
- *абсолютные* (не имеют определенной размерности и позволяют сравнивать различные характеристики).

¹ Берка К. Измерения. Понятия, теории, проблемы. — М.: Прогресс, 1987. 320 с.; Елтаренко Е. А. Методы оценки и выбора инженерных и управленческих решений. — М.: МИФИ, 1987. 191 с.; Пфаццagl И. Теория измерений; Сунтес П., Зиннес И. Основы теории измерений.

Данная классификация предполагает усиление требований к структуре шкалы, и каждый последующий тип шкалы включает предыдущий.

Кратко рассмотрим каждый из типов шкал.

Шкала наименований основывается на приписывании объектам измерений произвольных чисел для их идентификации и классификации. Приписывание производится так, что каждому элементу из одного класса приписывается одно и то же число. Основной эмпирической операцией, определяющей данный тип шкалы, является «определение равенства элементов», характеризующееся правилом соответствия изоморфным структурам слабого порядка:

$$a = b \iff xRy.$$

Из данной структуры видно, что элементам x, y , которые совпадают друг с другом относительно некоторой метрической или неметрической величины, будут приписываться одинаковые числовые значения ($a = b$). Математическая структура этого типа шкалы определяется функцией подстановок $f(x)$ и определяется в виде

$$y = f(x).$$

Данный тип шкалы остается инвариантным относительно каждой замены числового приписывания, сохраняющей класс.

Шкала наименований обозначается иногда термином «абсолютная шкала», так как ее форма не меняется при взаимнооднозначном преобразовании.

В случаях когда исследуемые объекты можно в результате сравнения расположить в определенной последовательности с учетом какого-либо существенного фактора (факторов), используются *порядковые шкалы*, позволяющие устанавливать равноценность или доминирование.

Порядковая (ординальная) шкала предполагает естественное упорядочение объектов измерения относительно какого-либо свойства. Процедура упорядочения задается двумя эмпирическими операциями: «установление равенства»:

$$a = b \iff xRy$$

и «установление отношения больше/меньше»:

$$a < b \iff xR_1y.$$

Или в обобщенной форме:

$$|a - b| = |c - d| \iff d(x, y) R_2 d(z, w);$$

$$|a - b| < |c - d| \iff d(x, y) R_3 d(z, w).$$

Математическая структура этого типа шкалы характеризуется изотонической (сохраняющей порядок) группой и определяется монотонно возрастающей или убывающей функцией $y = f(x)$.

Предположим, что необходимо расположить в определенной последовательности n объектов по какому-либо фактору (критерию). Такое упорядочение обычно представляется в виде матрицы $A(a_{ij})$, где $i, j = 1, 2, \dots, n$.

Величины a_{ij} устанавливают соотношения между объектами и могут быть определены следующим образом:

$$a_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{если } i \text{ более предпочтительнее, чем } j, i \succ j, \\ 0, & \text{если } i \text{ и } j \text{ — эквивалентны, } i \approx j, \\ -1, & \text{если } i \text{ не более (менее) предпочтительнее, чем } j, i \prec j. \end{cases}$$

Установим основные аксиомы, необходимые для соблюдения условий упорядочения. Соотношение $a_{ij} = +1$, означающее, что i предпочтительнее j , должно быть асимметричным, т. е. если $a_{ij} = +1$, то $a_{ji} = -1$, и транзитивным, т. е. если $a_{ij} = +1$, $a_{jk} = +1$, то $a_{ik} = +1$.

Соотношение $a_{ij} = 0$, означающее, что i и j равноценны, называется соотношением эквивалентности. Такое соотношение должно быть:

рефлексивным, т. е. $a_{ii} = 0$;

симметричным, т. е. если $a_{ij} = 0$, то $a_{ji} = 0$;

транзитивным, т. е. если $a_{ij} = 0$ и $a_{jk} = 0$, то $a_{ik} = 0$.

Кроме того, эти два соотношения должны быть совместимы, т. е. если $a_{ij} = +1$ и $a_{jk} = 0$, то $a_{ik} = +1$, а также если $a_{ij} = 0$ и $a_{jk} = +1$, то $a_{ik} = +1$.

И наконец, упорядочение должно быть связным, т. е. для любых i и j или $a_{ij} = +1$, или $a_{ij} = -1$, или $a_{ij} = 0$.

Использование порядковых шкал позволяет различать объекты и в тех случаях, когда фактор (критерий) не задан в явном виде, т. е. когда мы не знаем признака сравнения, но можем частично или полностью упорядочить объекты на основе системы предпочтений, которой обладает эксперт.

Любое множество A будем называть упорядоченным, если для любых двух его элементов X и Y установлено, что либо X предшествует Y , либо Y предшествует X . Иногда не удается установить строгое предшествование для всех элементов множества, но можно произвести «групповое» упорядочение, когда упорядочиваются подмножества равноценных элементов. Далее можно поставить задачу сравнения и упорядочения этих подмножеств.

Использование порядковых шкал позволяет производить преобразования полученных от экспертов оценок, соответствующих всем монотонно возрастающим функциям. Так, например, положительные оценки могут быть заменены их квадратами, или логарифмами, или любой другой монотонно возрастающей функцией.

Для формализации оценок, полученных от экспертов, часто используют *интервальные шкалы*.

Интервальная шкала (шкала интервалов) отличается от предыдущих тем, что требует установления определенной единицы измерения и начальной точки отсчета. Эмпирическая операция допускает только такое числовое приписывание, при котором равенство промежутков между двумя шкальными значениями выражает равенство интервалов между измеряемыми элементами относительно некоторого свойства. Это требование характеризуется правилом

$$|a - b| = |c - d| \Leftrightarrow d(x, y) R_2 d(z, w).$$

Математическая структура шкалы интервалов характеризуется общей линейной группой

$$y = a_0 + a_1 x,$$

где a_0 — единица измерения, а a_1 — начало шкалы.

При использовании таких шкал можно брать почти все обычные статистические меры. Исключением являются те меры, которые предполагают знание «истинно» нулевой точки шкалы, которая вводится здесь условно. Интервальные шкалы предполагают возможность трансформации оценок, полученных на одной шкале, в оценки на другой шкале при помощи уравнения $\hat{x} = a_0 + a_1 x$,

Разности между значениями на шкале интервалов становятся мерами на шкале отношений, т. е. на обычной числовой шкале, так как в результате вычитания можно избавиться от постоянного слагаемого a_0 .

В ряде случаев при формализации экспертных оценок используется свойство аддитивности, которое присуще только шкале отношений. Наличие аддитивности выражается следующими аксиомами:

- 1) если $j = a$ и $i > 0$, то $i + j > a$;
- 2) $i + j = j + i$;
- 3) если $i = a$ и $j = b$, то $i + j = a + b$;
- 4) $(i + j) + k = i + (j + k)$.

Обычная ситуация, когда необходимо принять решение с учетом аддитивности, заключается в том, что имеется несколько (по крайней мере два) качественных факторов. При наличии нескольких факторов, характеризующих конкретные объекты, существует множество реальных свойств и типов связей объектов.

Так, например, факторы (показатели), характеризующие эффективность создания и внедрения новой техники, по их объективному содержанию можно подразделить на технические, экономические и социальные. С другой стороны, эти факторы можно сгруппировать в соответствии с их ролью в процессе создания и внедрения новой техники, выделив, например, показатели, характеризующие затраты, качество, экономическую эффективность и т. д.

В зависимости от характера и цели исследуемой проблемы факторы, по которым различаются объекты, могут быть количественно сравнимы или несравнимы между собой, частично сравнимы (т. е. не любой с любым, а лишь некоторые из них), упорядочены по степени их важности и т. д. Несοизмеримость различных факторов обусловлена не только необходимостью применения разных единиц измерения, но и тем, что каждый фактор, выражая определенное свойство, одновременно является оценкой отношения к данному свойству со стороны принимающего решение.

В практике управления во всех его уровнях часто возникают ситуации, когда необходимо принять решение с учетом многих факторов. Вопрос о том, какие именно факторы следует считать наиболее важными, зависит от качественных особенностей объекта решения и целей, которым должно отвечать это решение.

Например, при рассмотрении нескольких вариантов плана или вариантов организационно-технических мероприятий следует принимать во внимание факторы времени, затрат, технических и социальных результатов, экономической эффективности и т. д. Обычно все разнообразие факторов пытаются привести к однозначной комплексной оценке, причем наиболее удобной и распространенной такой оценкой является денежная.

Однако, поскольку последствия любого решения, особенно решений, связанных с научно-техническим прогрессом, выходят за рамки стоимостных показателей, необходимы измерители, характеризующие значимость, полезность того или иного фактора (или их комплекса). Такие комплексные измерители широко применяются при оценке качества продукции, технико-экономического уровня производства, при оценке результатов деятельности научных организаций и в ряде других задач. Хотя вопрос о создании достаточно обоснованной формализованной системы таких измерителей еще далек от окончательного решения, можно указать некоторые общие черты, обеспечивающие подход к формализации этого процесса и к использованию того или иного логико-математического аппарата.

В случае когда все факторы задаются по номинальной шкале, т. е. задаются по этой шкале некоторый признак a и исходное множество элементов M , цель состоит в выборе подмножества элементов $M(a)$, обладающих этим признаком. В таких случаях производится сравнение элементов, точнее их свойств, с признаком — эталоном, а результат — разбиение множества — можно рассматривать как упорядочение по двухэлементной шкале, по которой каждому из элементов присваивается балл, равный либо нулю, либо единице.

В случае когда факторы заданы по порядковой шкале или по нескольким порядковым шкалам, цель состоит в упорядочении элементов исходного множества, в выявлении с помощью экспертов скрытой упорядоченности, которая, по предположению, присуща этому множеству. Необходимым условием решения этой задачи является допущение о транзитивности. Чем полнее упорядочены элементы, тем легче применить логико-математические и комбинаторные методы к решению таких задач.

В зависимости от существа или важности того или иного фактора на этапе подготовки и принятия решений могут быть другие шкалы. Такие факторы, как затраты, прибыль, время, могут быть оценены по порядковой или интервальной шкале (в рублях, днях или условных единицах). Для оценки же таких факторов, как срок окупаемости или сравнительная эффективность вариантов, может быть использована интервальная шкала; качественные или социальные факторы могут оцениваться по порядковым или номинальным шкалам.

Шкала отношений представляет собой шкалу интервалов с естественным началом, т. е. $a_0 = 0$. Тогда математическая групповая структура шкал отношений выражается группой подобия (гомотетической группой):

$$y = a_f x.$$

Эмпирической операцией дополняющей предыдущие шкальные типы, является «определение равенства отношений».

Абсолютная шкала базируется на шкале отношений, для которой вводятся нормированные (базовые) характеристики:

а) $f = x_i / \tilde{x}_i$;

б) $f = x_i / \sigma_i$;

в) $f = (x_i - \tilde{x}) / \sigma_i$;

г) $f = (x_{i\max} - x_i) / x_{i\max}$;

д) $f = (x_{i\max} - x_i) / R_i$,

где $\tilde{x}$ — математическое ожидание, σ_i — отклонение, R_i — размах вариации. Классификация шкал приведена в табл. 4.2.

Таблица 4.2. Соответствие типа шкалы множеству допустимых преобразований

Вид критерия	Наименование шкалы	Множество допустимых преобразований критерия
Качественные критерии	Номинальная	Все взаимнооднозначные функции $Y = \{\phi : x_i = x_j \rightarrow f(x_i) = f(x_j)\}$
	Порядковая	Все монотонно возрастающие функции $Y = \{\phi : x_i \geq x_j \rightarrow f(x_i) \geq f(x_j)\}$
Количественные критерии	Интервальная	Все положительные аффинные преобразования $Y = \{\phi : \phi(x) = a_0 + a_1 x\}$
	Шкала отношений	Все линейные преобразования с положительными коэффициентами $Y = \{\phi : \phi(x) = a_1 x, a \geq 0\}$
	Абсолютная	Тождественные преобразования $Y = \{\phi : \phi(x) \equiv x\}$

В следующем разделе рассмотрим применение указанных типов шкал для использования в процедурах измерения характеристик сравниваемых объектов.

4.4. Методы субъективных измерений характеристик

Измерение характеристик при выборе наиболее предпочтительного объекта из некоторого множества альтернатив предполагает наличие в качестве объектов измерения некоторой совокупности характеристик, которые описывают сам экономический объект или проблемную ситуацию. Процедура измерения этих характеристик и дальнейшее сравнение их измеренных значений осуществляется на базе наличия некоторых признаков и правил сравнения, а также выбора соответствующего метода сравнения.

При измерении характеристик могут быть использованы самые разнообразные шкалы, описанные выше.

В упрощенном виде задача субъективных измерений может быть описана следующим образом. Пусть $X = (x_1, \dots, x_n)$ — объекты, для которых измеряется предпочтительность одного объекта над другим. И пусть f — некоторый признак сравнения, по которому выполняется сравнение свойств объектов.

Рассмотрим возможные методы анализа признака сравнения. Используемые методы сравнения отличаются только процедурой сравнения. В настоящее время достаточно хорошо проработаны и используются в практике принятия решений следующие процедуры сравнения: *ранжирование, парное сравнение, оценка, последовательное сравнение* и некоторые другие.

Метод ранжирования представляет собой процедуру, предполагающую упорядочение объектов в порядке их предпочтения (предшествования) на основе сравнения их свойств объектов. Для анализа этих свойств вводятся отношения: предпочтения « $\succ$ » и эквивалентности « $\sim$ ». Если на множестве объектов $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ определено только отношение предпочтения « $\succ$ », то говорят, что задан строгий порядок. Например, для представленного множества объектов имеется следующий порядок:

$$\{a_4 \succ a_2 \succ a_1 \succ \dots \succ a_i \succ a_n\}.$$

Это определяет следующие отношения между объектами, например для данной последовательности предпочтения a_4 — это наиболее предпочтительный объект среди множества исследуемых, он предпочтительнее чем a_2 , который, в свою очередь, предпочтительнее, чем a_1 , и т. д., самый неpreferируемый объект в этой ранжировке a_n . Если к данному отношению добавляется отношение эквивалентности « $\sim$ », то говорят, что задается нестрогий порядок:

$$\{a_4 \succ a_2 \sim a_5 \succ a_1 \sim \dots \succ a_1 \sim a_k \succ a_n\}.$$

Здесь объект a_4 предпочтительнее, чем a_2 , который эквивалентен a_5 , в свою очередь, они предпочтительнее, чем a_1 , и т. д.

Тогда с учетом введенных отношений справедливо соотношение

$$(a_i \succ a_j) \rightarrow (c_i \geq c_j),$$

где $c_i = f(a_i)$. Обычно c_i называют рангом объекта (т. е. это порядковый номер объекта в ранжированном списке).

Рассмотрим присвоение рангов упорядоченному множеству объектов $\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, для которого определены отношения предпочтения « $\succ$ » и эквивалентности « $\sim$ ». Присваивая элементам ранжированного множества порядковые номера из натурального ряда чисел, получим, например, следующее:

$X_1 \succ X_2 \succ X_3 \sim X_4 \sim X_5 \succ X_6 \succ \dots \succ X_m$ — ранжированные объекты
1, 2, 3, 4, 5, 6, ..., M — ранги

Ранги для объектов X_3, X_4, X_5 , эквивалентных между собой, вычисляются как среднее арифметическое $C_{3,4,5} = (3 + 4 + 5)/3 = 4$.

С учетом средних рангов имеем следующий ряд объектов:

$X_1 \succ X_2 \succ X_3 \sim X_4 \sim X_5 \succ X_6 \succ \dots \succ X_m$ — ранжированные объекты
1, 2, 4, 4, 4, 6, ..., M — ранги

Метод парного сравнения заключается в установлении предпочтения объектов при сравнении только пары объектов. Например, среди пары объектов a и b возможны следующие ситуации:

Форма отношения	Содержание отношения
$a \succ b$	a предпочтительнее, чем b
$a = b$	a эквивалентно b
$a \prec b$	a не предпочтительнее, чем b

При этом используется следующее представление о значении элементов матрицы с учетом порядковой шкалы:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } a \succ b, \\ 0, & \text{если } a \prec b. \end{cases}$$

Таким образом, значение «1» при сравнении двух объектов выставляется лишь в том случае, если x_i более предпочтительно или эквивалентно, чем объект x_j . Результаты таких парных сравнений всегда можно представить в виде матрицы парных сравнений, показанной в табл. 4.3 для пяти элементов попарного сравнения.

Таблица 4.3. Матрица парных сравнений

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
X_1	1	0	1	1	0
X_2	1	1	0	0	1
X_3	0	1	1	0	0
X_4	0	1	1	1	0
X_5	1	1	1	1	1

Здесь, например, на пересечении объектов X_1 и X_2 стоит элемент, равный 0. Это говорит о том, что объект X_1 менее предпочтителен, чем X_2 , т. е. $X_1 \prec X_2$. Для объекта X_1 (по строке) объекты X_3 и X_4 являются менее предпочтительными, так как $X_1 \succ X_3, X_1 \succ X_4$, и объект $X_1 = X_1$ эквивалентен сам себе.

При нескольких вариантах пар объектов для каждого варианта строится своя матрица сравнений, затем производится обобщение значений по всем полученным матрицам парных сравнений.

На основании выявленных парных предпочтений можно определить число голосов, отданных за тот или иной объект. Для этого проводится подсчет числа предпочтений по каждому объекту, т. е. суммирование числа голосов и строится матрица, приведенная в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Матрица парных сравнений

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Сумма голосов	Доля голосов
X_1	1	0	1	1	0	3	$3/15 = 0,2$
X_2	1	1	0	0	1	3	0,200
X_3	0	1	1	0	0	2	0,133
X_4	0	1	1	1	0	3	0,200
X_5	1	0	1	1	1	4	0,267
Итого						15	1,0

Здесь в графе «Сумма голосов» подсчитана сумма баллов, отданных за то, что данный объект будет предпочтительнее, чем другие. Для оценки доли данного объекта в системе предпочтений исследуемых объектов необходимо взять отношение суммы голосов к общему итогу (графа «Доля голосов»). Найденный параметр характеризует коэффициент важности объекта в общей системе объектов, что можно интерпретировать как субъективный приоритет объекта, его важность.

Метод последовательного сравнения используется в случае, когда имеется оценка каждого объекта приоритетного сравнения, желательно представленная в нормированных единицах.

Процедура последовательного сравнения состоит из следующих этапов:

1. Ранжирование объектов.

2. Оценка объектов (принимаем, что $f(x_i) = 1$ для $f = [0, 1]$).

3. Решение анализа (анализа того, будет ли объект (x_1) превосходить все другие объекты, вместе взятые). Алгоритм решения формулируется следующим образом: если объект x_1 превосходит все другие объекты ($x_2, x_3, \dots, x_n$), вместе взятые, то функция оценки $f(x_1)$ увеличивается настолько, чтобы выполнялось следующее условие:

$$f(x_1) \geq \sum_{i=2}^m f(x_i),$$

т. е. чтобы функция $f(x_1)$ была больше суммы всех остальных. В противном случае значение $f(x_1)$ снижают до такой величины, пока не выполнится условие

$$f(x_1) < \sum_{i=2}^m f(x_i),$$

т. е. чтобы функция $f(x_1)$ была не больше суммы всех остальных.

4. Аналогично формируется процедура оценки и по второму объекту:

$$f(x_2) > \sum_{i=3}^m f(x_i)$$

и т. д. вплоть до m -го объекта.

При измерении характеристик, оцениваемых как в количественных, так и в качественных шкалах, а также при анализе согласованности характеристик используются специальные методы нормирования.

Метод непосредственной (аналитической) оценки. Данный метод основывается на присвоении каждому объекту некоторой вычисленной формально или эвристической оценки, отражающей его количественную характеристику, т. е. задается абсолютное или относительное значение интегральной характеристики объекта на некотором числовом отрезке. Например, для отрезка $[0 : 1]$, объектам a_i и a_j присвоены оценки

$$f_i = c(a_i) = 0,2, \dots, f_j = c(a_j) = 0,1 \text{ и т. д.}$$

4.5. Критерии выбора: методы формирования интегрального критерия

При решении задач принятия решений обычно имеется целый комплекс целей и критериев эффективности выбора. Для выполнения задачи принятия решения необходимо сформировать один или несколько наиболее существенных целей или переформулировать указанные цели в критерии выбора. В практике решения управленческих задач обычно используется несколько критериев. Однако для решения таких многокритериальных задач требуется достаточно сложная методология выбора. Если же в системе принятия решения сформулировать одну цель — критерий выбора, то процедура реализации задачи выбора намного упрощается. В этой связи и возникает проблема, требующая формирования из нескольких критериев выбора одного, наиболее важного и существенного, отражающего все основные аспекты, описываемые заменяемой системой критериев-целей.

При применении подхода, связанного с использованием одного критерия выбора, возможны следующие методы формирования данного критерия выбора:

- выделение из группы критериев одного, *главного*, являющегося наиболее важным критерием, который отражает базовые аспекты структуры и содержания задачи принятия решения. Данный метод носит название метода выделения главного критерия;
- формирование на основе выделенной группы критериев одного, обобщенного критерия, который также отражает основную суть решаемой проблемы. Для формирования такого единого критерия могут быть использованы различные формальные методы свертывания критериев в единый функционал, который называется *интегральным* критерием. Данный метод носит название метода формирования интегрального (обобщенного) критерия.

Метод выделения *главного критерия* базируется на предположении, что для задачи сформировано некоторое множество критериев выбора, для которых

можно задать ранжировку. В качестве *главного критерия* принимается один из наиболее важных, все же остальные критерии учитываются в виде системы ограничений для проведения выбора из множества допустимых альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$.

Пусть для принятия решения имеется система целей, которые отражаются в виде критериального вектора $K = (k_1, k_2, \dots, k_n)$, т. е. множество критериев, на основе которых производится оценка некоторой альтернативы Y . Тогда $k_1(Y), k_2(Y), \dots, k_n(Y)$ представляет собой вектор значений альтернативы Y по критериям K .

Однако если количество целевых критериев достаточно велико или по некоторым из них имеется громоздкая и значительная по времени процедура анализа и оценки, то можно попытаться выделить *главный критерий* и свести тем самым многокритериальную задачу к однокритериальной, где в качестве генерального представителя достижения цели используется один генеральный критерий, а остальные, проранжированные по степени их важности, ограничивают критериальное пространство для выбора альтернатив и тем самым сужают область выбора альтернатив по генеральному критерию. Формально процедура сводится к выбору экстремального значения главного критерия, например $K_j(A)$, при ограничениях на значения остальных критериев $[K_{i+1}(Y), K_j(Y), \dots, K_c(Y)]$, т. е.

$$\text{extr } [K_i(Y)] \text{ при } K_j(Y) \leq B_j^0;$$

$$K_{j+1}(Y) \geq B_{j+1}^0;$$

...

$$K_c(Y) \leq B_c^0;$$

где $(B_j^0, \dots, B_c^0)$ — вектор допустимых значений критериев дополнения.

К *достоинствам* данного метода можно отнести сравнительную простоту и наличие развитых алгоритмов математического программирования для их решения.

К *недостаткам* метода следует отнести то, что множество альтернатив анализируется и оценивается только по одному критерию, хотя и наиболее важному, а значения других, если они удовлетворяют ограничению, не учитываются при выборе.

Интегральный критерий представляет собой некоторый функционал, связывающий группу локальных критериев выбора, который позволяет свести многокритериальную задачу к однокритериальной с возможностью формирования таких же процедур принятия решения, как и в задачах при одном критерии. Для получения *интегрального критерия* обычно используются специальные методы обобщения локальных критериев: выявление наиболее важного критерия; формирование свертки критериев; формирование обобщенной метрики и другие, которые мы и рассмотрим более подробно ниже.

Процедура *формирования свертки критериев* представляет собой получение некоторого функционала из нескольких локальных функций, характеризующих достижение соответствующих целей, и включает различные методы получения такого функционала. В зависимости от используемых локальных функций различают методы *аддитивные, мультипликативные и смешанные*.

Мультипликативный метод свертки критериев предполагает построение интегрального критерия в виде простого или взвешенного произведения локальных критериев, если они удовлетворяют некоторым условиям мультипликативности:

$$E = f(k_1, k_2, \dots, k_m) = \prod_{i=1}^m k_i^{\beta_i}.$$

Если для каждого критерия можно задать весовой коэффициент, характеризующий его важность β , то интегральный критерий строится в виде взвешенной по важности свертки:

$$E = f[(k_1, \beta_1), (k_2, \beta_2), \dots, (k_m, \beta_m)] = \prod_{i=1}^m \beta_i \cdot k_i.$$

К недостаткам данного метода можно отнести существование неоднозначных компенсаций значений критериев.

Аддитивный метод свертки критериев предполагает построение интегрального критерия в виде простой или взвешенной суммы локальных критериев, если они удовлетворяют некоторым условиям аддитивности:

$$E = f[(k_1, \beta_1), (k_2, \beta_2), \dots, (k_m, \beta_m)] = \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot k_j.$$

Интегральный критерий здесь представляется в виде взвешенной по важности суммы локальных критериев, где β_j — коэффициент важности критерия.

Метод вычисления обобщенной метрики (критериального расстояния). Данный метод ориентирован на формирование критерия, на основе специальных видов обобщенной метрики, для определения расстояния от сравниваемого объекта до интегрального критерия.

Такая метрика характеризует расстояние между анализируемыми объектами и используется в виде обобщенного критерия, так как описывает обобщенное расстояние между текущим объектом и объектом, с которым производится сравнение. При решении задач выбора обычно рассматривают расстояние между некоторым фактическим объектом и его идеальным представлением. При использовании метрики возможно применение следующих методов вычисления расстояния:

- метрика абсолютных отклонений;
- метрика относительного отклонения;
- метрика наибольших абсолютных отклонений от идеального объекта;
- метрика наибольших относительных отклонений от идеального объекта.

Метрика абсолютных отклонений базируется на функции расстояния следующего вида:

$$E = f(k_1, k_2, \dots, k_m) = \sum_{j=1}^m (q_j^o - q_j) + \sum_{j=s+1}^m (q_j - q_j^o),$$

где первое слагаемое представляет собой критерий для получения максимальных, второе — критерий для минимальных значений.

Метрика относительного отклонения задается отношением нормированных значений максимальных и минимальных значений:

$$E = f(k_1, k_2, \dots, k_m) = \sum_{j=1}^m [(q_j^o - q_j) / (q_j^o - q_j^{\min})] + \sum_{j=1}^m [(q_j - q_j^o) / (q_j^{\max} - q_j^o)].$$

Метрика наибольших абсолютных отклонений:

$$E = \max[q_j^o - q_j].$$

Метрика наибольших относительных отклонений:

$$E = \max\left[\left[(q_j^o - q_j) / (q_j^o - q_j^{\min})\right] - \left[(q_j - q_j^o) / (q_j^{\max} - q_j^o)\right]\right].$$

Метод формирования квазиаддитивной свертки. Данная метрика базируется на концепции полезности¹. В ее основе лежит понятие многомерной функции полезности $u(k_1, k_2, \dots, k_m)$, построенной на критериях $(k_1, k_2, \dots, k_m)$, для получения которой предъявляются некоторые специфические требования. К этой системе требований, определяющих возможность построения такого функционала, можно отнести следующие:

- 1) для каждого из критериев k_i должны быть определены его максимальный и минимальный уровни критериального значения:

$$k_{\min}, k_i^-, k_{\max}; k_{\min} = k^-; k_{\max} = k^+;$$

- 2) функция полезности $u(k_1, k_2, \dots, k_m)$ нормирована и изменяется в диапазоне значений $[0; 1]$, причем наилучшее значение функции соответствует значению 1, $u(k_1^+, k_2^+, \dots, k_m^+) = 1$; а наихудшее — значению 0, $u(k_1^-, k_2^-, \dots, k_m^-) = 0$;

- 3) имеется дополнение критерия Δk_i в виде:

$$(k_1, \dots, k_{i-1}, k_{i+1}, \dots, k_m).$$

Тогда функцию полезности $u(k_1, k_2, \dots, k_m)$ можно представить в виде $u(\Delta k_i, k_i)$. Фиксируя значения k_i^- , получаем $u(k_i^-, k_i)$ как функцию одной переменной (сведение задачи к однокритериальной), которую можно задать ЛПР.

Для того, чтобы интегральный критерий $E = u(\Delta k_i, k_i)$ адекватно отражал характеристики объекта, необходимо, чтобы E удовлетворял некоторым аксиомам, задающим метрику такого типа. Таким образом, для определения структуры метрики, аргументами которой являются локальные цели-критерии (их

¹ Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. — М.: Мир, 1978. 380 с.; Кини Р., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. — М.: Радио и связь, 1981. 242 с.

шкальные значения), наиболее полезным и обоснованным (единственным по Е. А. Елтаренко¹) является использование аксиоматического подхода, заключающегося в анализе свойств метрики E и построении на основании выявленных свойств ее конкретной структуры.

Для задания свойств метрики E необходимо, чтобы она удовлетворяла аксиомам транзитивности, антирефлексивности, монотонности и непрерывности.

Таким образом, если критериальный функционал удовлетворяет вышеприведенным условиям и ограничениям на независимость локальных функций k_i по полезности, рациональность локальных критериев (максимизация полезности), то структура свертки ищется в виде метрики, удовлетворяющей условиям квазиаддитивной (квазисепарабельной) свертки².

В частности, для $n = 3$ интегральный критерий имеет вид:

$$E = \sum_{j=1}^n k_j + \sum_{j=1}^{n+1} c_j \cdot \prod_{j=1}^n k_j^a,$$

$$\text{где } a = \begin{cases} 0, & \text{если } i = j; \\ 1, & \text{иначе,} \end{cases}$$

характеризует включение i -й критериальной составляющей в интегральный критерий E .

¹ Елтаренко Е. А. Элементы теории измерений. — М.: МИФИ, 1979. 39 с.

² Кини Р., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения.

Раздел 2. МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СТРУКТУРИРОВАННЫХ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЯХ

Глава 5. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В СТРУКТУРИРОВАННЫХ СИТУАЦИЯХ

После выполнения подготовительных работ по формированию и оценке решений формируется процедура непосредственного выбора решения. Отметим, что к структурированным задачам относятся задачи, в которых имеется полностью определенная информация по проблемной ситуации. В терминах классификации задач принятия решения типы J, JA, G, GA .

На первом этапе полученная ранее информация упорядочивается и размещается в соответствующих матрицах (таблицах). Для каждого типа задач принятия решений формируется своя система подготовки и представления информации. В свою очередь, каждая задача ПР характеризуется классификационными параметрами, описанными в предыдущих главах (гл. 2, табл. 2.1). При этом для каждого типа задач существует адекватный набор методов решения, которые являются для нее наиболее эффективными.

В литературе для группы структурированных задач используются методы, связанные с индивидуальным выбором, и групповые. В данном разделе рассмотрим методы индивидуального выбора, т. е. в терминах классификации задач принятия решения это типы J и JA .

При решении задач, относящихся к простым задачам, имеющим четкую структуризацию и решаемым индивидуально (одним ЛПР), обычно применяют некоторый спектр соответствующих методов. Перечислим эти методы, которые являются относительно простыми, но дают желаемый результат по выбору рационального (эффективного) решения.

1. Задачи типа J .

1.1. Для задач, определяемых как однокритериальные с *небольшим количеством альтернативных вариантов*, используются процедуры перебора вариантов и выявления наилучшего по одному сформулированному критерию.

1.2. При сложной структуре задачи и *значительном количестве возможных альтернативных вариантов* решения применяются экономико-математические методы нахождения оптимального по некоторому критерию решения. Наиболее распространенными методами здесь являются методы оптимизации, в частности методы линейного программирования, нелинейного программирования, динамического программирования и пр.

2. Задачи типа *JA*.

2.1. Для задач принятия решений, включающих несколько критериев и различающихся только количеством возможных альтернативных решений, которые могут быть сформированы по задаче, обычно используют несколько иные подходы, чем для решения задач типа *J*. При решении задач принятия решений с *незначительным потенциальным объемом допустимых вариантов* решения обычно применяют следующие подходы для их решения:

- метод, использующий при выборе принцип максимина (гарантированного результата);
- метод, использующий при выборе принцип оптимизма;
- метод, использующий при выборе принцип Гурвица (комбинированный);
- метод, использующий при выборе принцип Сэвиджа (минимаксного сожаления).

2.2. Для задач, для которых *число допустимых альтернативных вариантов велико* и большую роль играют ограничения на ресурсы управления, обычно используют сложные оптимизационные модели векторного типа либо применяют последовательное решение однокритериальной задачи, упорядоченное дополнительными критериальными ограничениями.

Рассмотрим некоторые методы принятия решения, которые наиболее часто используются в структурированных задачах выбора.

5.1. Методы решения задач типа *J*. Поиск оптимального решения

Задачи типа J характеризуются одной ситуацией, наличием одного критерия и индивидуальным ЛПР, который и осуществляет выбор. Информация, описывающая задачи такого типа, характеризуется следующими исходными данными: множество альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$; значение функции предпочтения (полезности) для каждой альтернативы, $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$. Задача обычно описывается простой таблицей (матрицей) следующего типа (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Матрица описания задач типа *J*

Альтернативные решения	Y_1	Y_2	...	Y_n
Значения функции предпочтения	f_1	f_2	...	f_n

Для вычисления значений функции предпочтения по каждой альтернативе может быть использована любая шкала: порядковая (ранги), количественная (степени достижения) и др. В дополнение к матрице может быть дана информация об особенностях решения, условиях, ограничениях на ресурсы, возможностях и т. д.

Общее правило решения такого типа задач определяется следующей стратегией: наилучшее решение определяется той альтернативой, значение функции полезности которой будет наилучшим (максимальным по полезности) среди исследуемого множества, т. е.

$$f(Y^*) = \max_i [f(Y_i)], f(Y^*) \rightarrow Y^*.$$

Если же функция полезности f_i определяет критериальный параметр, задаваемый обратной зависимостью, например, в виде издержек, то максимальная полезность здесь будет у той альтернативы, которая имеет наименьшее значение издержек.

Таким образом, общая схема решения определяется выбором того параметра, который характеризует полезность при выборе решения. Данный параметр является критерием выбора, а правило выбора задается в зависимости от характеристик критерия.

Если же количество альтернативных вариантов велико, а вычисление функции полезности и их дальнейший анализ в виде перебора альтернатив является сложной процедурой, то в этом случае используются методы оптимального выбора на базе экономико-математического моделирования.

Рассмотрим задачу такого типа несколько подробнее.

Постановка оптимизационной задачи в математической форме состоит в нахождении значений переменных, максимизирующих заданную целевую функцию и удовлетворяющих системе ограничений. В такой форме задача оптимизации называется *задачей математического программирования*.

При формальной постановке задачи математического программирования основными являются понятия *переменных по задаче*, *допустимых множеств решений*, *целевой функции*.

Задача заключается в нахождении значений n переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$, которые могут быть представлены в виде вектора-столбца $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ и которые составляют вектор переменных в n -мерном евклидовом пространстве E^n . В задаче принятия решений переменные представляют возможные альтернативы решения.

Если вектор переменных $\mathbf{X}$ удовлетворяет ограничениям задачи, он называется *допустимым*, а множество всех допустимых векторов образует множество возможностей $\mathbf{X}$. Допустимое множество является подмножеством E^n , $\mathbf{X} \subseteq E^n$. Так как задача заключается в выборе вектора инструментальных переменных из допустимого множества, то в любой нетривиальной задаче оно является непустым (т. е. система ограничений совместна) и содержит по крайней мере две различные точки.

Целевая функция — это краткое математическое изложение цели данной задачи. Обычно она представляется в виде действительной непрерывно дифференцируемой функции вектора переменных

$$F = F(\mathbf{x}) = F(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Общая задача математического программирования состоит в выборе вектора переменных из множества возможных, максимизирующих значение целевой функции:

$$\max_x F(x) \text{ при условии, что } x \in X, \quad (5.1)$$

где X — подмножество n -мерного евклидова пространства.

Учитывая, что максимизация целевого функционала $F(x)$ для простых линейных функций эквивалентна максимизации целевой функции линейного вида, например

$$a + bF(x) \text{ при } b > 0,$$

или минимизации

$$a + bF(x), \text{ если } b < 0,$$

можно сделать вывод, что введение дополнительного слагаемого или положительного множителя в целевую функцию не изменяет задачи, в то время как отрицательный множитель может быть использован для преобразования задачи максимизации в задачу минимизации, и наоборот (например, с помощью умножения $F(x)$ на -1).

В зависимости от вида целевого функционала и функций ограничения выделяются три основных вида общей задачи математического программирования: классическая задача математического программирования, задача нелинейного программирования и задача линейного программирования.

В *классической задаче* математического программирования все ограничения представляют собой равенства типа:

$$\left(\begin{array}{l} q_1(x) = q_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_1 \\ q_2(x) = q_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_2 \\ \dots \\ \dots \\ q_m(x) = q_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_m \end{array} \right),$$

где функции $q_1(x), q_2(x), \dots, q_m(x)$ — известные непрерывно дифференцируемые функции, называемые функциями ограничений; параметры $b_1, b_2, \dots, b_m$ — заданные действительные числа, называемые *константами ограничений*. В векторной форме система ограничений записывается в виде $q(x) = B$, где $q(x)$ и B — это m -мерные векторы-столбцы:

$$q(x) = \begin{pmatrix} q_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ q_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \dots \\ \dots \\ q_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ \dots \\ b_m \end{pmatrix}.$$

Тогда задача классического программирования заключается в максимизации целевой функции при заданных ограничениях:

$$\max_x F(x) \text{ при условии, что } \mathbf{q}(x) = \mathbf{B}.$$

В задачах *линейного программирования* целевая функция является линейной формой вида

$$F(x) = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n = \mathbf{c}x,$$

где $\mathbf{c}$ — заданный вектор-строка констант $\mathbf{c} = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ и имеются ограничения двух типов:

а) ограничения в виде неравенств:

$$\begin{pmatrix} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \dots \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \end{pmatrix}; \quad (5.2)$$

б) условия неотрицательности переменных

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0.$$

В векторной форме ограничения имеют вид

$$\mathbf{A}x < \mathbf{B}, x \geq 0,$$

где $\mathbf{A}$ — заданная матрица размерности $m \times n$

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & & & \\ \dots & & & \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}.$$

Таким образом, задача линейного программирования заключается в нахождении неотрицательных значений переменных, удовлетворяющих ограничениям (5.2) и максимизирующих заданную линейную форму $F(x)$.

В общей задаче математического программирования вектор переменных x^* является точкой *максимума* (или оптимальным решением Y^*), если он принадлежит допустимому множеству решений и целевая функция $F(x)$ принимает на этом векторе значение, не меньшее, чем в любой другой допустимой точке

$$x \in X \text{ и } F(x^*) \geq F(x) \text{ для всех } x \in X.$$

Для решения задач такого типа обычно используют группу наиболее рациональных методов: метод множителей Лагранжа, симплекс-метод и пр. Есте-

ственно, ряд данных методов реализован в виде компьютерных модулей решения, позволяющих достаточно быстро и эффективно получить оптимальное решение, провести анализ чувствительности задачи и моделирование решения при различных значениях исходных параметров задачи (решить двойственную задачу).

Рассмотрим решение задач линейного программирования на следующем примере.

Постановка задачи. Планом развития региона предполагается ввести в действие 3 нефтяных месторождения с суммарным объемом добычи, равным 9 млн т. На первом месторождении объем добычи должен быть не менее 1 млн т, на втором — 3 млн т, на третьем — 5 млн т. Для достижения такой производительности необходимо пробурить не менее 125 скважин. Для реализации данного плана выделено 25 млн руб. капитальных вложений (показатель K) и 80 км труб (показатель L).

Требуется определить оптимальное (максимальное) количество скважин для обеспечения плановой производительности каждого месторождения.

Исходные данные по задаче приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Исходные данные

Месторождение	Добыча, млн. т	Фонд скважин	Дебет 1-й скважины	Длина трубопровода для 1-й скважины	Стоимость строительства 1-й скважины	K	L
1	1	10	100	1,0	300		
2	3	15	200	2,0	200		
3	5	100	50	0,5	150		
Итого:	9	125	350			25,0	80,0

Формализация задачи. Целью решения данной оптимизационной задачи является нахождение максимального значения добычи нефти при оптимальном количестве скважин по каждому месторождению с учетом существующих ограничений по задаче.

Целевая функция в соответствии с требованиями задачи примет вид

$$100X_1 + 200X_2 + 50X_3 \rightarrow \max, \quad (5.3)$$

где X_1, X_2, X_3 — количество скважин по каждому месторождению.

Существующие ограничения по задаче на:

- длину прокладки труб:

$$X_1 + 2X_2 + 0,5X_3 \leq 80; \quad (5.4)$$

- число скважин на каждом месторождении:

$$X_1 \leq 10, X_2 \leq 15, X_3 \leq 100; \quad (5.5)$$

- стоимость строительства одной скважины:

$$0,3X_1 + 0,2X_2 + 0,1541 \leq 25. \quad (5.6)$$

Решение задачи. Решение задачи проведем аналитическим (теоретическим) методом (методом построения симплекс-таблиц) и автоматизированным методом, базирующимся на использовании пакета программ решения задач линейной (и нелинейной) оптимизации, имеющимся в интегрированной системе Excel.

5.2. Аналитическое решение задачи линейной оптимизации (симплекс-метод)

Рассмотрим решение задачи линейного программирования симплекс-методом. Исходные данные по задаче приведены в табл. 5.2.

Алгоритм симплекс-метода кратко можно описать в виде следующих шагов.

Переходим в исходных ограничениях (5.4–5.6) от неравенств к маргинальному виду, для чего исходное ограничение, записанное в виде неравенства типа $\leq$ (не более), $\geq$ (не менее), представим в виде равенства, прибавляя некоторую дополнительную (остаточную, избыточную) переменную к левой части ограничения (вычитая избыточную переменную из левой части).

Например, в левую часть исходного ограничения по трубам

$$X_1 + 2X_2 + 0,5X_3 \leq 80$$

вводим остаточную (дополнительную) переменную $X_4 \geq 0$, в результате чего исходное неравенство обращается в равенство

$$X_1 + 2X_2 + 0,5X_3 + X_4 = 80, X_4 \geq 0.$$

Таким образом, если данное исходное ограничение определяет расход труб, то переменную X_4 следует интерпретировать как остаток, или неиспользованную часть данного ресурса.

Остальные ограничения приводятся аналогично к маргинальным равенствам при помощи дополнительных переменных.

1. Проводится преобразование максимума целевой функции к минимуму. Максимизация целевой функции эквивалентна минимизации той же функции, взятой с противоположным знаком. То есть функция

$$Z = 100X_1 + 200X_2 + 50X_3 \rightarrow \max$$

эквивалентна функции

$$-Z = -100X_1 - 200X_2 - 50X_3 \rightarrow \min. \quad (5.7)$$

2. Составляется специальная промежуточная таблица в виде матрицы, куда включают параметры задачи. Такая матрица носит название симплекс-таблицы и используется для базисного решения. Симплекс-матрица имеет следующий вид:

	A_0	A_1	A_2	...	A_n	Θ	p_1	p_2	...	p_3
A_{i1}	X_{i1}									
A_{i2}	X_{i2}									
...	...									
A_{im}	X_{im}									
	$Z_{\max}$	$-Z_1$	$-Z_2$	...	$-Z_n$					

В данной таблице ячейки $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{im}$ обозначают, что после решения задачи в этих клетках будет находиться базисное решение. Параметр Θ есть частное от деления столбца A_0 на один из столбцов $A_i, i = 1, \dots, n; p_j, j = 1, \dots, m$ — дополнительные множители обнуления значений в клетках таблицы, относящихся к разрешающему столбцу. $Z_{\max}$ — максимальное значение целевой функции Z , $Z_i, i = 1, \dots, n$ — значения коэффициентов в целевой функции при неизвестных $X_i, i = 1, \dots, n$.

3. Среди значений $Z_i, i = 1, \dots, n$ находят *отрицательное*. Если такого нет, то задача считается решенной. Выбирают любой столбец таблицы, в котором есть $Z_i < 0$, этот столбец называется разрешающим столбцом. Если отрицательные числа в разрешающем столбце присутствуют, переходят к п. 5.

4. Столбец Θ заполняется дробями, в числителе которых элементы столбца A_0 , а в знаменателе соответствующие элементы разрешающего столбца. Из всех значений $\Theta_i, i = 1, \dots, m$ выбирается наименьшее. Строка, в которой получилось наименьшее значение Θ_0 , называется разрешающей строкой. На пересечении разрешающей строки и разрешающего столбца находят разрешающий элемент, который выделяют каким-либо образом, например цветом.

5. На основе первой симплекс-таблицы составляется следующая матрица, в которой:

- вектор-строка $A_{il}, l = 1, \dots, m$ заменяется на вектор-столбец $A_k, k = 1, \dots, n$;
- разрешающая строка заменяется этой же строкой, поделенной на разрешающий элемент;
- каждая из остальных строк таблицы заменяется на сумму этой строки с разрешающей, умноженной на специально подобранный дополнительный множитель $p_j, j = 1, \dots, m$, в целях получения 0 в клетке разрешающего столбца.

6. Для полученной новой таблицы обращаемся к пункту 4.

Процедура решения задачи симплекс-методом. Исходя из формализованной постановки задачи (5.3–5.6) имеем целевую функцию следующего вида:

$$100X_1 + 200X_2 + 50X_3 \rightarrow \max$$

и систему ограничений неравенств:

$$\begin{cases} X_1 + 2 \cdot X_2 + 0,5X_3 \leq 80, \\ 0,3 \cdot X_1 + 0,2X_2 + 0,15X_3 \leq 25, \\ X_1 \leq 10, \\ X_2 \leq 15, \\ X_3 \leq 100. \end{cases}$$

Для решения задачи необходимо преобразовать систему неравенств в систему маржинальных уравнений, для чего вводим дополнительные переменные X_4, X_5, X_6, X_7, X_8 . Полученная система уравнений имеет вид

$$\begin{cases} X_1 + 2X_2 + 0,5X_3 + X_4 = 80, \\ 0,3 \cdot X_1 + 0,2X_2 + 0,15X_3 + X_5 = 25, \\ X_1 + X_6 = 10, \\ X_2 + X_7 = 15, \\ X_3 + X_8 = 100. \end{cases}$$

Построение исходной симплекс-таблицы. Построим промежуточную таблицу, структура которой приведена выше. В данной матрице каждая переменная обозначена через параметр A с соответствующим индексом ($A_0 - A_8$), из которых $A_1 - A_3$ — характеризуют исходные переменные, $A_4 - A_8$ — дополнительные переменные, A_0 — значение свободных членов (правая часть уравнения). В строке Z приведены коэффициенты обратной целевой функции (5). Вид первой симплекс-таблицы представлен в табл. 5.3.

Таблица 5.3. Первая симплекс-матрица

	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
A_4	80	1	2	0,5	1	0	0	0	0
A_5	25	0,3	0,2	0,15	0	1	0	0	0
A_6	10	1	0	0	0	0	1	0	0
A_7	15	0	1	0	0	0	0	1	0
A_8	100	0	0	1	0	0	0	0	1
Z	0	-100	-200	-50	0	0	0	0	0

Шаг 1. Выбираем разрешающий (ведущий) столбец, т. е. тот, который имеет отрицательное значение в строке Z . Это столбец A_1 , в котором значение $Z = -100$. Если отрицательные числа в разрешающем столбце отсутствуют, то рассчитываем столбец Θ . Для этого разделим значения столбца A_0 на соответствующие значения разрешающего столбца A_1 . В результате получим ряд отношений:

$$\Theta_1 = 80/1 = 80, \Theta_2 = 25/0,3 = 83,33, \Theta_3 = 10/1 = 10.$$

Заносим значения Θ_i в таблицу. По наименьшему из них, равному 10, определяем разрешающую строку, которая соответствует A_6 . На пересечении разрешающей строки и разрешающего столбца находим разрешающий элемент, который равен 1. Заполняем часть таблицы дополнительными множителями, такими, что умноженная на них разрешающая строка, добавленная к остальным строкам таблицы, образует 0 в элементах разрешающего столбца. Вид матрицы с разрешающим столбцом и значениями вектора Θ приведен в табл. 5.4 (разрешающие столбец и строка выделены).

Таблица 5.4. Расчетная таблица шага 1

	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	Θ
A_4	80	1	2	0,5	1	0	0	0	0	80
A_5	25	0,3	0,2	0,15	0	1	0	0	0	83,33
A_6	10	1	0	0	0	0	1	0	0	10
A_7	15	0	1	0	0	0	0	1	0	—
A_8	100	0	0	1	0	0	0	0	1	—
Z	0	−100	−200	−50	0	0	0	0	0	

Шаг 2. Разделим на разрешающий элемент, равный 1, все элементы строки A_6 . Заменяем все элементы разрешающей строки на полученные новые значения. Обозначение разрешающей строки A_6 заменим на обозначение разрешающего столбца A_1 .

На основании предыдущей матрицы составляем *вторую симплекс-таблицу*.

В ней разрешающим столбцом берем A_3 , так как в этом столбце имеется минимальное отрицательное значение, равное 50. Вычисляем значения Θ_i в виде частного от деления значений в строке A_0 и соответствующего значения в разрешающей строке A_3 и заносим их в таблицу (столбец Θ). По минимальному значению этого столбца $\Theta_i = 100$ получаем разрешающую строку. Разрешающим элементом будет значение, равное 1. Вид матрицы с разрешающим столбцом и значениями вектора Θ для шага 2 алгоритма приведен в табл. 5.5 (разрешающие столбец и строка выделены).

Таблица 5.5. Расчетная таблица шага 2

	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	Θ
A_4	70	0	2	0,5	1	0	0	0	0	140
A_5	22	0	0,2	0,15	0	1	0	0	0	146,66
A_6	10	1	0	0	0	0	1	0	0	—
A_7	15	0	1	0	0	0	0	1	0	—
A_8	100	0	0	1*	0	0	0	0	1	100
Z	1000	0	−200	−50	0	0	0	0	0	

Шаг 3. Применив к строкам матрицы арифметические операции (строчные операции в матричной алгебре), приведем все остальные элементы разрешающего столбца A_1 к нулю. В качестве базиса в этих арифметических операциях должна использоваться только ведущая строка.

Обозначим через R_i i -ю строку. Соотношение «новая R_3 = прошлая R_3 – новая R_1 » означает, что новые элементы строки 3 были получены вычитанием элементов новой ведущей строки (строка 1) из соответствующих элементов ведущей строки 3 предыдущего шага. Коэффициенты (1; 0,3; 0; 0; 100) соответствуют значениям разрешающего (ведущего) столбца предыдущей таблицы. Выполненные операции перечислены в крайнем правом столбце таблицы. Вид приведенной матрицы с разрешающим столбцом и значениями вектора Θ для 3 шага алгоритма показан в табл. 5.6 (разрешающие столбец и строка выделены).

Таблица 5.6. Приведенная матрица для шага 3

	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	Θ	
A_4	70	0	2	0,5	1	0	0	0	0	140	Новая R_1 = прошлая R_1 – $1 \times$ новая R_3
A_5	22	0	0,2	0,15	0	1	0	0	0	146,66	Новая R_2 = прошлая R_2 – $0,3 \times$ новая R_3
A_6	10	1	0	0	0	0	1	0	0	–	Новая R_3 = прошлая R_3 / ведущий элемент (1*)
A_7	15	0	1	0	0	0	0	1	0	–	Новая R_4 = прошлая R_4 – $0 \times$ новая R_3
A_8	100	0	0	1*	0	0	0	0	1	100	Новая R_5 = прошлая R_5 – $0 \times$ новая R_3
Z	1000	0	–200	–50	0	0	0	0	0		Новая Z = прошлая Z – $–100 \times$ новая R_3

Шаг 4. Шаги с 1-го по 3-й повторяются до тех пор, пока не будет достигнута неотрицательность всех элементов в строке целевой функции Z. Поэтому по результатам табл. 5.6 составляем следующую симплекс-таблицу (табл. 5.7).

Таблица 5.7. Расчетная матрица для шага 4

	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	Θ
A_4	20	0	2	0	1	0	0	0	–0,5	10
A_5	7	0	0,2	0	0	0	0	0	–0,15	35
A_6	10	1	0	0	0	0	1	0	0	–
A_7	15	0	1	0	0	0	0	1	0	15
A_8	100	0	0	1	0	0	0	0	1	–
Z	6000	0	–200	0	0	0	0	0	50	

Аналогичным образом находим разрешающий столбец A_2 , разрешающую строку A_4 и разрешающий элемент, который равен 2. По результатам разрешающих элементов матрицы строим следующую симплекс-таблицу (табл. 5.8).

Таблица 5.8. Результативная матрица

	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	Θ
A_4	10	0	1	0	0,5	0	0	0	-0,25	
A_5	5	0	0	0	-0,1	0	0	0	-0,1	
A_6	10	1	0	0	0	0	1	0	0	
A_7	5	0	0	0	-0,5	0	0	1	0,25	
A_8	100	0	0	1	0	0	0	0	1	
Z	8000	0	0	0	100	0	0	0	0	

Поскольку в строке Z нет отрицательных значений, то эта таблица является конечной, в которой сформированы результаты решения задачи. Первый столбец дает искомые значения неизвестных, т. е. оптимальное базисное решение, при обозначениях: $A_1 = X_1$, $A_2 = X_2$, $A_3 = X_3$ имеют следующие оптимальные значения $X_1=10$, $X_2=10$, $X_3=100$, при этом значение целевой функции $Z = 8000$ и будет максимальным при принятых ограничениях.

Задача решена.

Решение этой же задачи проверим и рассмотрим на примере использования модуля математического анализа данных, имеющегося в интегрированной системе (табличном процессоре) Excel, который позволяет решать подобные оптимизационные задачи.

5.3. Автоматизированное решение задачи линейной оптимизации (Excel)

Решение задачи. На основании исходных данных и формализации модели (5.3–5.6) введем в электронную таблицу (ЭТ) Excel указанные данные таким образом, чтобы получилась таблица, аналогичная исходной. Форма таблицы приведена на рис. 5.1. В данной таблице помимо исходных данных необходимо выделить ячейки для вспомогательных параметров, в частности для ввода целевой функции (ячейка B11), уравнений ограничений (ячейки B5–B6) и ячейки, в которых будет проводится расчет искомых переменных (C9–E9).

- в ячейку B11 поместить целевую функцию $C7 \cdot C9 + D7 \cdot D9 + E7 \cdot E9$;
- начальные значения искомых переменных поместить в ячейки с адресами: C9, D9, E9, задавая начальные значения переменным, равные 0;
- значения единичной добычи поместить в ячейки C7, D7, E7;
- значения протяженности трубопровода для строительства одной скважины ввести в ячейки C5, D5, E5;
- стоимость строительства скважины — в ячейки C6, D6, E6;
- формулу расчета общей протяженности $C5 \cdot C9 + D5 \cdot D9 + E5 \cdot E9$ поместить в ячейку B5;
- формулу расчета общей стоимости $C6 \cdot C9 + D6 \cdot D9 + E6 \cdot E9$ сформировать в ячейке B6;

- тип ограничений — в ячейки F5, F6;
- значения ограничений — в ячейки G5, G6;
- ограничения количества скважин C8, D8, E8.

Исходные данные для решения задачи отображены в таблице постановки задачи, вид которой в системе Excel показан на рис. 5.1.

Для решения оптимизационных задач в ЭТ используется команда **«Поиск решения»** в меню **«Сервис»**.

Следует отметить, что программа **«Поиск решения»** оперирует с тремя основными компонентами построенной в ЭТ оптимизируемой модели.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Математическая модель максимизации добычи						
2								
3			Месторождение					
4			1	2	3			
5	Протяженность	0	1	2	0,5	≤	80	
6	Стоимость проекта	0	0,3	0,2	0,15	≤	25	
7	Единичная добыча		100	200	50			
8	Ограничения количества скважин		10	15	100			
9	Количество скважин		0	0	0			
10								
11	Общая добыча:	0						
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								

Рис. 5.1. Исходные данные для решения задачи

После постановки задачи (ввода исходных данных таблицы постановки задачи) осуществляется решение с помощью модуля **«Поиск решения»** (рис. 5.2).

Параметры, приведенные в окне модуля **«Поиск решения»**, характеризуются следующими данными:

- ячейкой, содержащей максимальное значение целевой функции (ЦФ) задачи (на рис. 5.1 это ячейка B11);
- изменяемыми ячейками, содержащими независимые переменные (на рис. 5.1 это диапазон ячеек C9 : E9);
- ячейками, содержащими левые части ограничений на имеющиеся ресурсы, а также простые ограничения на независимые переменные (на рис. 5.1

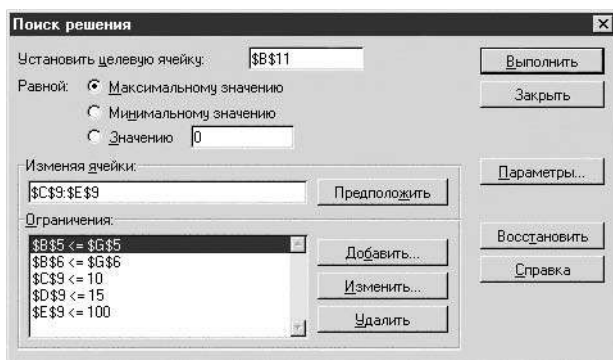


Рис. 5.2. Диалоговое окно для задания параметров решения «Поиск решения»

это ячейки, указанные в поле **«Ограничения»** ($B5 \leq G5$; $B6 \leq G6$), — ограничения на ресурсы, ($C9 \leq 10$, $D9 \leq 15$, $E9 \leq 100$) — ограничения на переменные).

Для установки параметров задачи в поле **«Установить целевую ячейку»** нужно указать адрес ячейки, которая содержит формулу для расчета целевой функции (у нас это B11). Очень важно, чтобы эта формула была связана с изменяемыми ячейками, выражающими искомые переменные задачи (объемы производства различных типов продукции).

В поле **«Изменяя ячейки»** ввести область, содержащую изменяемые ячейки (у нас это ячейки C9 : E9).

Для задания ограничения следует нажать кнопку **«Добавить»**. Появится диалоговое окно — **«Добавление ограничения»** (рис. 5.3).

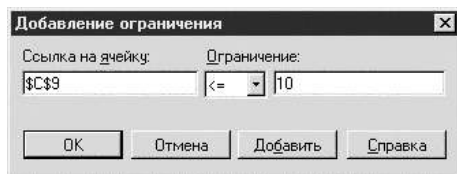


Рис. 5.3. Диалоговое окно «Добавление ограничения»

В левом поле диалогового окна **«Добавление ограничения»** указывают адрес ячейки, содержимое которой должно удовлетворять заданному ограничению. В правом поле задают значение ограничения или указывают адрес ячейки, где такое значение содержится (в данном случае 10 или C8). В поле, находящемся между этими двумя полями, справа от которого расположена кнопка со стрелкой, задают оператор, который определяет соотношение между содержимым ячейки, указанным в левом поле, и заданным в правом поле ограничением.

В этом примере необходимо задать 5 ограничений (5.4–5.6).

После того как ввели первое ограничение, нажатием кнопки **«Добавить»** можно ввести значение без закрытия диалогового окна **«Добавление ограничения»**. После закрытия окна **«Добавление ограничения»** в поле **«Ограничения»** окна **«Поиск решения»** появятся все введенные ограничения.

После того как все ограничения для программы **«Поиск решения»** заданы, можно воспользоваться кнопками **«Изменить»** и **«Удалить»** для изменения или удаления ряда ограничений из их списка.

Дополнительные параметры, определяющие способ выполнения вычислений, можно задать в диалоговом окне **«Параметры поиска решения»** (рис. 5.4). Это окно открывается нажатием на кнопку **«Параметры»** в диалоговом окне **«Поиск решения»**.

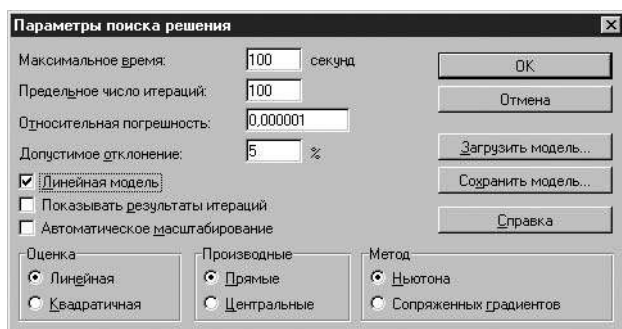


Рис. 5.4. Диалоговое окно «Параметры поиска решения»

Решаемая задача относится к линейным, поэтому указываем способ вычислений **«Линейная модель»**, отмечаем флажком данное поле и **ОК**.

Запустите процесс вычислений нажатием кнопки **«Выполнить»**. В строке состояния будут отображены некоторые шаги процесса вычислений. После того как поиск решения завершен, новые значения будут вставлены в таблицу, а на экране появится диалоговое окно **«Результаты поиска решения»**, которое будет содержать информацию о завершении процесса поиска решения (рис. 5.5).

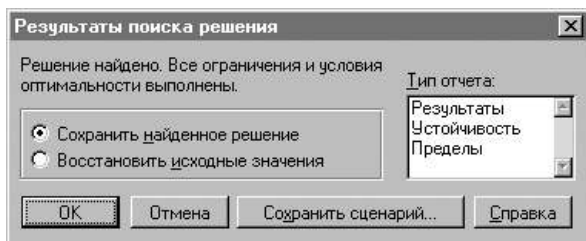


Рис. 5.5. Диалоговое окно «Результаты поиска решения»

Здесь можно указать, должен ли быть представлен в таблице новый результат и нужно ли составить отчет о результатах решения модели.

Если установлена опция **«Восстановить исходные значения»** и не задано составление отчета, то найденные значения будут удалены. При задании режима составления отчета следует выбрать тип отчета в поле **«Тип отчета»** и **ОК**.

Таким образом, программа выполнила расчет определения оптимального (максимального) количества скважин для обеспечения плановой производительности каждого месторождения (таблица решения на рис. 5.6).

	A	B	C	D	E	F	G
1	Математическая модель максимизации добычи						
2			Месторождение				
3							
4			1	2	3		
5	Протяженность	80	1	2	0,5	≤	80
6	Стоимость проекта	20	0,3	0,2	0,15	≤	25
7	Единичная добыча		100	200	50		
8	Ограничения количества скважин		10	15	100		
9	Количество скважин		10	10	100		
10							
11	Общая добыча:	8000					
12							
13							

Рис. 5.6. Результаты решения моделируемой задачи

На практике часто необходимо исследовать полученное решение, чтобы получить ответы на целый ряд возникающих при изучении решения вопросов. Например, если интересует чувствительность полученных оптимальных решений к изменению различных параметров исходной модели, то в этом могут помочь предлагаемые в окне **«Поиск решения»** отчеты: отчет по результатам, отчет по устойчивости и отчет по пределам.

Отчет по результатам. На рис. 5.7 представлена совокупность таблиц, которые система выдает в виде отчета по результатам.

В *первой таблице* приводятся исходное и окончательное (оптимальное) значение целевой ячейки, в которую мы поместили целевую функцию решаемой задачи.

Во *второй таблице* мы видим исходные и окончательные значения оптимизируемых переменных, которые содержатся в изменяемых ячейках.

Третья таблица отчета по результатам содержит информацию об ограничениях. В столбце **«Значение»** помещены оптимальные значения потребных ресурсов и оптимизируемых переменных. Столбец **«Формула»** содержит огра-

Microsoft Excel. Отчет по результатам

Целевая ячейка (Макс)

Ячейка	Имя	Исходно	Результат
\$B\$11	Общая добыча: Математическая модель максимизации добычи	0	8000

Изменяемые ячейки

Ячейка	Имя	Исходно	Результат
\$C\$9	Количество скважин Месторождение	0	10
\$D\$9	Количество скважин	0	10
\$E\$9	Количество скважин	0	100

Ограничения

Ячейка	Имя	Значение	Формула	Состояние
\$B\$6	Стоимость проекта Математическая модель максимизации добычи	20	\$B\$6<=\$G\$6	Не связан
\$B\$5	Протяженность Математическая модель максимизации добычи	80	\$B\$5<=\$G\$5	Связанное
\$C\$9	Количество скважин Месторождение	10	\$C\$9<=10	Связанное
\$D\$9	Количество скважин	10	\$D\$9<=15	Не связан
\$E\$9	Количество скважин	100	\$E\$9<=100	Связанное

Рис. 5.7. Отчет по результатам

нижения на потребляемые ресурсы и оптимизируемые переменные, записанные в форме ссылок на ячейки, содержащие эти данные. Столбец «Состояние» определяет, связанными или несвязанными являются те или другие ограничения. Здесь «связанные» — это ограничения, реализуемые в оптимальном решении в виде жестких равенств. Столбец «Разница» для ресурсных ограничений определяет остаток используемых ресурсов, т. е. разность между потребным количеством ресурсов и их наличием.

Формат *отчета по результатам* позволяет быстро и легко использовать полученное решение как часть управленческого отчета, составляемого менеджером в текстовом редакторе.

Для большей уверенности может быть получен *отчет по устойчивости*, который содержит информацию об изменяемых (оптимизируемых) переменных и ограничениях модели. Указанная информация связана с используемым при

оптимизации линейных задач симплекс-методом, относящимся к линейному программированию. Она позволяет оценить, насколько чувствительным является полученное оптимальное решение к возможным изменениям параметров модели.

Первая часть отчета содержит информацию об изменяемых ячейках, содержащих значения о количестве скважин на месторождениях. В столбце «Результатирующее значение» указываются оптимальные значения оптимизируемых переменных. В столбце «Целевой коэффициент» помещаются исходные данные значения коэффициентов целевой функции. В следующих двух колонках иллюстрируется допустимое увеличение и уменьшение этих коэффициентов без изменения найденного оптимального решения.

Вторая часть отчета по устойчивости содержит информацию по ограничениям, накладываемым на оптимизируемые переменные. В первом столбце указываются данные о потребности в ресурсах для оптимального решения. Второй содержит значения теневых цен на используемые виды ресурсов. В последних двух колонках помещены данные о возможном увеличении или уменьшении объемов имеющихся ресурсов.

5.4. Методы решения задач типа JA. Принцип гарантированного результата

Задачи *типа JA* характеризуются одной, вполне определенной ситуацией S_0 , множеством целей (критериев) $\{A_1, A_2, \dots, A_k\}$ и индивидуальным ЛПР, осуществляющим процесс выбора. Для каждой цели (критерия) A из множества целей решения $A \subseteq \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$ могут быть определены приоритеты, задающие степень важности цели $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ при решении задачи, и ограничения.

Таким образом, по задаче известна следующая информация: множество альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$; множество целей решения $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$ с заданными приоритетами целей по их важности $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$. Для каждой альтернативы по каждой цели решения необходимо оценить значение функции предпочтения $F = (f_{11}, f_{12}, \dots, f_{21}, \dots, f_{mk})$.

Информация описания такой задачи задается матрицей, представленной в табл. 5.9.

Таблица 5.9. Матрица описания задач типа JA

Альтернативы	Критерии (цели)			
	A_1	A_2	...	A_k
Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1k}
Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2k}
...	...	...	...	...
Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mk}
Приоритет (степень важности) цели	β_1	β_2	...	β_k

где A_e — цели (целевые критерии); β_i — приоритеты критериев; f_{ij} — функция предпочтения.

Для задачи, сформулированной в виде такой матрицы, при незначительном количестве альтернатив m рассмотрим возможные, наиболее приемлемые методы решения.

Один из распространенных методов решения задач такого класса — ориентация ЛПР на стратегию, обеспечивающую гарантированный результат по минимальным потерям, если будет выбрана не наилучшая альтернатива. Такая стратегия определяется принципом *максимина*, или *гарантированного результата*.

Принцип максимина заключается в выборе в качестве наиболее эффективной той альтернативы (стратегии), которая имеет наибольшее среди наименьших по всем альтернативам значение функции полезности. В соответствии с этим принципом выбора из множества альтернатив $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ выбирают ту, которая при самом неблагоприятном состоянии внешней среды имеет наибольшее значение показателя целевой функции. Для этого по каждой альтернативе определяют значение функции полезности и фиксируют альтернативы с минимальными значениями данного показателя. Из отмеченных минимальных значений выбирают самое значительное, т. е. максимально возможное при данной проблемной ситуации. А альтернативе Y_j , имеющей максимальное значение функции полезности из всех имеющихся минимальных, дается высший приоритет.

Лицо, принимающее решение, в этом случае готово понести риск, ориентируясь на неблагоприятное развитие проблемной ситуации, но желает, чтобы величина этого риска и уровень соответствующих потерь были бы минимальны. Таким образом, данная стратегия ориентирована не на максимальный выигрыш при изменении ситуации, а на проигрыш, но гарантирующий его минимальное значение. Этот принцип носит название «стратегия выбора Вальда» и предполагает максимум негативного развития состояния внешней среды с учетом наименее благоприятного развития для каждой альтернативы.

Формализуя стратегию выбора, можно сказать, что ЛПР выбирает стратегию, гарантирующую максимальное значение, но из значений наихудшего выигрыша.

Рассмотрим формальную постановку задачи. Для структурированной задачи индивидуального выбора класса JA определено множество альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ и выделены цели (критерии) решения задачи $K = (k_1, k_2, \dots, k_m)$. Для выбора рациональной альтернативы определены значения функции полезности f_{ji} каждой альтернативы по соответствующему критерию выбора. Требуется, чтобы значения полезностей были представлены в одинаковой категории значений, для чего лучше всего сформировать категорию ранговых оценок. Матрица представления задачи приведена в табл. 5.10.

Тогда стратегия выбора в соответствии с *принципом максимина* определяется следующим правилом:

Таблица 5.10. Матрица задачи принятия решения

Альтернативы	Критерии (цели)			
	K_1	k_2	...	k_m
Y_1	f_{11}	f_{12}		f_{1m}
Y_2	f_{21}	f_{22}		f_{2m}
...	...	...	...	...
Y_n	f_{n1}	f_{n2}		f_{nm}

$$f(Y^*) = \max_i \min_j [f_{jt}(Y)], f(Y^*) \rightarrow Y^*, \quad (5.8)$$

где $f(Y^*)$ — функция полезности, а соответствующая ей альтернатива Y^* является оптимальной (рациональной) и характеризует процедуру рационального выбора. Следует отметить, что критериальные параметры, характеризующие значения функции полезности, должны быть измерены в одинаковых или эквивалентных шкалах.

Процедура принятия решения по данному методу проводится в два этапа.

На *первом этапе* по каждой альтернативе выбираем для множества целей (по соответствующей строке, параметр j) минимальное значение функции полезности.

Исходные данные с учетом выбора минимальных критериальных значений представлены в табл. 5.11.

Таблица 5.11. Матрица решений (шаг 1)

Альтернативы	Критерии (цели)				$\min f_{jt}$
	A_1	A_2	...	A_m	
Y_1	f_{11}	f_{12}		f_{1m}	$\min [f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1m}] = \min f_1$
Y_2	f_{21}	f_{22}		f_{2m}	$\min [f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2m}] = \min f_2$
...	...	...	...	...	...
Y_n	f_{n1}	f_{n2}		f_{nm}	$\min [f_{n1}, f_{n2}, \dots, f_{nm}] = \min f_n$

На *втором этапе* из полученных минимальных значений необходимо выделить максимальное значение функции полезности, т. е.

$$f(Y^*) = \max_i [\min_{j=1} f_1, \min_{j=2} f_2, \dots, \min_{j=n} f_n]. \quad (5.9)$$

Для полученного множества минимальных значений функций полезности $\{\min f_1, \min f_2, \dots, \min f_n\}$ проводим выбор максимального из них (табл. 5.12).

Таким образом, оптимальной (по критерию максимина) является та альтернатива Y^* , для которой справедливо соотношение $(\max \min \{f(Y)\}) \rightarrow Y^*$, т. е. значению функции полезности $f(Y_i)$ из множества функций $\{f(Y)\}$ соответствует рациональная альтернатива Y^* .

Таблица 5.12. Матрица решений (шаг 2)

Альтернативы	$\min f_j$
Y_1	$\min [f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1m}] = \min f_1$
Y_2	$\min [f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2m}] = \min f_2$
...	...
Y_n	$\min [f_{n1}, f_{n2}, \dots, f_{nm}] = \min f_n$
Максимум из $\min f_j$	$\max \{\min f_1, \min f_2, \dots, \min f_n\} \rightarrow Y^*$

Рассмотрим использование метода, основанного на действии *принципа максимина*, на конкретной задаче.

Пусть исходная таблица задачи принятия решения соответствует задаче типа *JA* и характеризуется моделью, приведенной в табл. 5.10.

Пример 1. Рассмотрим задачу выбора оптовой базой наилучшей ассортиментной структуры объема закупок продукции для реализации розничным торговым предприятиям.

Для выбора рассмотрим продукцию, относящуюся к категории кисломолочной. Выбор производится на основе следующего ассортимента продукции, вырабатываемой различными предприятиями-поставщиками и предлагаемой для оптовой продажи: кефир 1 (Y_1); кефир 2 (Y_2); кефир 3 (Y_3). Для проведения выбора, были сформулированы несколько целевых критериев:

- оптовая цена k_1 , руб.;
- срок хранения k_2 , количество дней;
- ассортимент торговой марки k_3 , шт.

Исходные данные, измеренные в абсолютной шкале, приведены в табл. 5.13.

Таблица 5.13. Обобщенная постановка задачи

Альтернативы	Критерии (цели) выбора		
	k_1 , руб.	k_2 , дней	k_3 , шт.
Y_1	12,20	2	4
Y_2	14,35	6	6
Y_3	18,15	4	7

На *предварительном этапе* необходимо привести значения целевых критериев к нормированному (единому) виду. Для этого можно использовать предварительную оценку ассортиментного набора по ранговой шкале, т. е. присвоить каждой альтернативе в пределах исследуемого критерия ранг приоритета альтернативы по значению данного критерия. Тогда значение критерия, например для k_1 , будет преобразовано из абсолютной шкалы (оптовая цена в рублях) в ранговую оценку в виде номера места, соответствующего данной альтернативе на шкале возможных цен. Так, например, минимальная цена (лучшая) имеет ранг 1, а максимальная цена (худшая) имеет ранг последний.

На основании представленных значений проведем ранжирование в соответствии с предпочтениями конкретного критерия. Для этого в шкале рангов определим значения функции полезности альтернатив, используя данные табл. 5.13. Исходные данные по задаче, представленные в ранговой шкале, приведены в табл. 5.14.

Таблица 5.14. Обобщенная постановка задачи (ранговые оценки — шаг 1)

Альтернативы	Критерии (цели) выбора		
	k_1	k_2	k_3
Y_1	1	8	4
Y_2	4	2	5
Y_3	6	5	3

Принцип максимина заключается в выборе в качестве наиболее эффективной той альтернативы (стратегии), которая имеет наибольшее среди наименьших по всем альтернативам значение функции полезности. Данная стратегия, как уже говорилось, ориентирована на получение гарантированного минимума желательности (не хуже чем «лучший из худших»).

Решаем задачу в два этапа.

На *первом этапе* для каждой альтернативы выбираем по соответствующей строке наихудшее (минимальное) значение функции полезности:

- для альтернативы Y_1 наихудшим (минимальным) из критериальных значений $\{1, 8, 4\}$ является значение функции полезности, ранг которой отражает максимальную цену, т. е. $f_1 = 8$ для соответствующего критерия k_1 (оптовая цена);
- для альтернативы Y_2 минимальным (наихудшим) из значений $\{4, 2, 5\}$ является значение функции полезности, ранг которой отражает малый срок хранения ($f_2 = 5$), соответствующее критерию k_2 (срок хранения);
- для альтернативы Y_3 минимальным (наихудшим) из значений $\{6, 5, 3\}$ является значение функции полезности, ранг которой отражает малый уровень ассортимента продукции ($f_3 = 6$), соответствующее критерию k_3 (ассортимент торговой марки). Тогда имеем следующие минимальные значения полезности по каждой альтернативе, соответственно:

$$\min_j f_{1j} = 8; \min_j f_{2j} = 5; \min_j f_{3j} = 6.$$

На *втором этапе* из полученных минимальных значений проводится выбор наилучшего (максимального):

$$\max_i [\min_j f_{1j}, \min_j f_{2j}, \min_j f_{3j}] = \max_i [8, 5, 6] = 5 (i = 2) \Rightarrow Y_{i=2} \rightarrow Y_2.$$

Максимальной (наилучшей) из существующих минимальных (наихудших) является альтернатива с ранговым значением $= 5$ (чем меньше ранг, тем приоритетнее вариант), которое соответствует второй альтернативе. Таким образом,

рациональной (по критерию максимина) является альтернатива Y_2 . Полная матрица решения представлена в табл. 5.15.

Таблица 5.15. Матрица решений (шаг 2)

Альтернативы	Критерии (цели)			$\min f_{jt}$
	k_1	k_2	k_3	
Y_1	1	8	4	$\min [1, 8, 4] = 1$
Y_2	4	2	5	$\min [4, 2, 5] = 2$
Y_3	6	5	3	$\min [6, 5, 3] = 3$
Максимум из $\min f_{jt}$				$\max\{\min [1, 2, 3]\} = 3$

Другой вариант нормирования критериальных значений функции полезности альтернатив основывается на нормировании текущих значений через отношение к максимальному значению критерия. В качестве процедуры нормирования можно взять преобразование типа

$$a_{jt} = \frac{f_{jt}}{\max f_t}, \quad (5.10)$$

где f_{jt} — текущее значение функции полезности; $\max f_t$ — максимальное значение критериального параметра.

Исходные данные по задаче приведены в табл. 5.13. Теперь необходимо определить по каждому критерию максимальное значение параметра и выписать его отдельной строкой (табл. 5.16).

Таблица 5.16. Постановка задачи с максимальными значениями критериальных параметров

Альтернативы	Критерии (цели) выбора		
	k_1 , руб.	k_2 , дней	k_3 , шт.
Y_1	11,7	2	4
Y_2	14,35	6	6
Y_3	18,15	4	7
max	18,15	6	7

Преобразуем значения критериев в относительные величины, используя преобразование (5.10). Тогда задача в относительных величинах функции полезности переписывается в виде, представленном в табл. 5.17.

Таблица 5.17. Обобщенная постановка задачи

Альтернативы	Критерии (цели) выбора		
	k_1	k_2	k_3
Y_1	0,64	0,33	0,57
Y_2	0,79	1,00	0,86
Y_3	1,00	0,67	1,00

Полная матрица решения представлена в табл. 5.18. Для вычисления наихудших значений по тем критериям, у которых значение параметра и его ранг связаны обратной зависимостью, т. е. чем больше относительное значение параметра, тем ниже его ранг, удобно использовать при выборе не само относительное значение f_{jk} , а его дополнение $(1 - f_{jk})$. Тогда с учетом такого преобразования для параметров критерия k_1 (цена) получим полную матрицу решения (табл. 5.18). Остальные критерии (k_2, k_3) связаны прямой зависимостью между их значениями и рангом (чем больше значение параметра, тем выше его ранг).

Таблица 5.18. Матрица решений (шаг 2)

Альтернативы	Критерии (цели)			$\min f_{jk}$
	k_1	k_2	k_3	
Y_1	0,64	0,33	0,57	$\min [(1 - 0,64); 0,33; 0,57] =$ $= \min [0,36; 0,33; 0,57] = 0,33$
Y_2	0,79	1,00	0,86	$\min [(1 - 0,79); 1; 0,86] =$ $= \min [0,21; 1; 0,86] = 0,21$
Y_3	1,00	0,67	1,00	$\min [(1 - 1); 0,67; 1] = \min [0; 0,67; 1] = 0$
Максимум из $\min f_{jk}$				$\max\{\min [0,33; 0,21; 0]\} = 0,33$

На *втором этапе* проводится выбор максимальной (наилучшей) из полученных минимальных (наихудших) критериальных значений альтернатив. В процессе выбора определяется выбор по решающему правилу:

$$\max\{\min [0,33; 0,21; 0]\} = 0,33,$$

в результате применения которого определяется, что ему соответствует нормированное значение, равное 0,33, которое характеризует первую альтернативу. Таким образом, рациональной (по критерию максимина) при нормировании критериальных параметров является альтернатива Y_1 .

5.5. Принцип оптимизма (максимакса)

В соответствии с принципом оптимизма в качестве наиболее эффективной альтернативы выбирается та, которая обладает наивысшим достижимым значением оцениваемого показателя.

Если принцип гарантированного результата ориентирован на получение гарантированного минимума желательности (не хуже чем «лучший из худших»), то принцип *оптимизма* учитывает возможность получения максимального уровня желательности.

При этом ЛПР не рассчитывает на неблагоприятное изменение окружающей среды и не учитывает риск несанкционированного изменения проблемной ситуации. Данный принцип выбора обычно используется теми ЛПР, которые рассчитывают на четко спланированную ситуацию, не подвергающуюся изменениям.

Принцип *оптимизма* заключается в выборе в качестве наиболее эффективной той альтернативы (стратегии), которая имеет наибольшее из наибольших по всем альтернативам значение функции полезности. То есть принцип оптимизма предполагает выбор альтернатив в соответствии с правилом «лучший из лучших» и учитывает возможность получения максимального уровня желательности. Эта стратегия реализуется решающим правилом вида

$$f(Y^*) = \max_i \max_j f_{ij} \quad (5.11)$$

Рассмотрим формальную постановку задачи. Для структурированной задачи индивидуального выбора класса JA определено множество альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ и выделены цели решения задачи в виде некоторого вектора критериев эффективности выбора $K = (k_1, k_2, \dots, k_m)$. Для оценки выбора для каждой альтернативы Y_j определена функция полезности f_{jk} по соответствующему критерию выбора k_k . Исходная матрица постановки задачи представлена в табл. 5.19.

Таблица 5.19. Формализация задачи для принципа оптимизма

Альтернативы	Критерии (цели)			
	k_1	k_2	...	k_m
Y_1	f_{11}	f_{12}		f_{1m}
Y_2	f_{21}	f_{22}		f_{2m}
...	...	...	...	...
Y_n	f_{n1}	f_{n2}		f_{nm}

Тогда стратегия выбора в соответствии с *принципом оптимизма* определяется следующим решающим правилом:

$$f(Y^*) = \max_i \max_j [f_{ji}(Y)], f(Y^*) \rightarrow Y^*,$$

где $f(Y^*)$ — функция полезности, а соответствующая ей альтернатива Y^* является оптимальной (рациональной) и характеризует процедуру рационального выбора, проведенную в соответствии с принципом оптимизма. Поскольку критериальные параметры, характеризующие значения функции полезности, должны быть измерены в одинаковых шкалах, здесь удобнее всего использовать ранговую шкалу.

Процедура принятия решения в соответствии с принципом оптимизма также проводится в два этапа (с учетом преобразования критериальных параметров альтернатив в ранговую шкалу на предварительном этапе).

На *первом этапе* по каждой альтернативе выбираем для множества целей (по соответствующей строке, параметр j) наилучшее (максимальное) значение функции полезности.

Матрица задачи с учетом выбора наилучших критериальных значений представлена в табл. 5.20.

Таблица 5.20. Матрица решения по принципу оптимизма (шаг 1)

Альтернативы	Критерии (цели)				$\max f_j$
	A_1	A_2	...	A_m	
Y_1	f_{11}	f_{12}		f_{1m}	$\max [f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1m}] = \max f_1$
Y_2	f_{21}	f_{22}		f_{2m}	$\max [f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2m}] = \max f_2$
...	...	...	...	...	...
Y_n	f_{n1}	f_{n2}		f_{nm}	$\max [f_{n1}, f_{n2}, \dots, f_{nm}] = \max f_n$

На *втором этапе* из полученных максимальных значений проводится выбор наилучшего из всех возможных по задаче максимальных значений функции полезности, т. е.

$$f(Y^*) = \max_i [\max_{j=1} f_1, \max_{j=2} f_2, \dots, \max_{j=n} f_n].$$

То есть для полученного множества максимальных значений функций полезности $\{\max f_1, \max f_2, \dots, \max f_n\}$ проводим выбор наилучшего из приведенных максимальных значений функции полезности (табл. 5.21).

Таблица 5.21. Матрица решения по принципу оптимизма (шаг 2)

Альтернативы	$\max f_j$
Y_1	$\max [f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1m}] = \max f_1$
Y_2	$\max [f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2m}] = \max f_2$
...	...
Y_n	$\max [f_{n1}, f_{n2}, \dots, f_{nm}] = \max f_n$
Максимум из $\max f_j$	$\max \{\max f_1, \max f_2, \dots, \max f_n\} \rightarrow Y^*$

Оптимальной (по *критерию оптимизма-максимакса*) является та альтернатива Y^* , для которой справедливо соотношение $\max \max \{f(Y)\} \rightarrow Y^*$. То есть оптимальному значению функции полезности $f(Y)$ из множества функций $\{f(Y)\}$ соответствует рациональная альтернатива Y^* .

Для критериев, у которых наблюдается обратная зависимость между абсолютной величиной параметра и его рангом, следует использовать преобразование дополнения, т. е. использовать при вычислении максимума не абсолютное значение параметра f_j , а его дополнение $(1 - f_j)$.

Проведем решение исходной задачи (табл. 5.13) с использованием данного принципа выбора.

Пример 2. Рассмотрим задачу выбора наилучшей ассортиментной структуры объема закупок, представленной в примере 1 (табл. 5.13).

На предварительном этапе приведем значения целевых критериев к нормированному виду. Для этого используем ранжирование альтернатив по значимости уровня критерия. Каждой альтернативе в пределах исследуемого критерия

определим ранг приоритета альтернативы по данному критерию перед другими альтернативами аналогично преобразованиям рангов для примера 1. Поэтому на данном этапе вместо исходных данных подставим в исходную матрицу ранговые значения функции полезности альтернатив в разрезе критериев.

Исходные данные по задаче приведены в табл. 5.13.

Решаем задачу также в два этапа (без учета преобразования значения критериального параметра в ранговую шкалу).

На *первом этапе* для каждой альтернативы выбираем максимальное (наилучшее) значение по соответствующей строке.

Для альтернативы Y_1 наилучшим (максимальным) из критериальных значений $\{1, 8, 4\}$ является значение функции полезности, ранг которой отражает минимальную цену, т. е. $f_1 = 1$ для соответствующего критерия k_1 (оптовая цена). Для альтернативы Y_2 максимальным (наилучшим) из значений $\{4, 2, 5\}$ является значение функции полезности, ранг которой отражает максимальный срок хранения ($f_2 = 2$), соответствующее критерию k_2 (срок хранения); для альтернативы Y_3 максимальным (наилучшим) из значений $\{6, 5, 3\}$ является значение функции полезности, ранг которой отражает широкий уровень ассортимента продукции ($f_3 = 3$), соответствующее критерию k_3 (ассортимент торговой марки). Тогда имеем следующие минимальные значения полезности по каждой альтернативе соответственно:

$$\max_j f_{1j} = 1; \max_j f_{2j} = 2; \max_j f_{3j} = 3.$$

Матрица решений для этапа 1 представлена в табл. 5.22.

Таблица 5.22. Матрица решений (шаг 1)

Альтернативы	Критерии (цели)			$\max f_j$
	k_1	k_2	k_3	
Y_1	1	8	4	$\max [1, 8, 4] = 1$
Y_2	4	2	5	$\max [4, 2, 5] = 2$
Y_3	6	5	3	$\max [6, 5, 3] = 3$

На *втором этапе* из полученных максимальных (лучших) значений проводится выбор наилучшего (максимального), у которого ранг самый высокий (близкий к 1). Правило выбора следующее:

$$\max_i [\max_j f_{1j}, \max_j f_{2j}, \max_j f_{3j}] = \max_i [1, 2, 3] = 1 (i=1) \Rightarrow Y_{i=1} \rightarrow Y_1.$$

Максимальной (наилучшей) из существующих альтернатив с лучшими значениями является альтернатива с ранговым значением $= 1$ (чем меньше ранг, тем приоритетнее вариант), которое соответствует первой альтернативе. Таким образом, рациональной (по *принципу оптимизма*) является альтернатива Y_1 . Полная матрица решения представлена в табл. 5.23.

Применяя другой вариант нормирования критериальных значений функции полезности альтернатив, основанный на нормировании значений по преоб-

Таблица 5.23. Матрица решений (шаг 2)

Альтернативы	Критерии (цели)			$\max f_{jt}$
	k_1	k_2	k_3	
Y_1	1	8	4	$\max [1, 8, 4] = 1$
Y_2	4	2	5	$\max [4, 2, 5] = 2$
Y_3	6	5	3	$\max [6, 5, 3] = 3$
Максимум из $\max f_{jt}$				$\max\{\max [1, 2, 3]\} = 1$

разованию (5.10), можно получить данные в относительных величинах функции полезности, представленные в табл. 5.17.

Полная матрица решения представлена в табл. 5.24. При этом для вычисления ранговых значений для критериев с обратной зависимостью используем дополнение в виде $(1 - f_{jt})$. Учитывая это, для параметров критерия k_1 (цена), получим полную матрицу решения (табл. 5.24).

Таблица 5.24. Матрица решений (шаг 2)

Альтернативы	Критерии (цели)			$\max f_{jt}$
	k_1	k_2	k_3	
Y_1	0,64	0,33	0,57	$\max [(1-0,64); 0,33; 0,57] =$ $= \max [0,36; 0,33; 0,57] = 0,57$
Y_2	0,79	1,00	0,86	$\max [(1-0,79); 1; 0,86] =$ $= \max [0,21; 1; 0,86] = 1$
Y_3	1,00	0,67	1,00	$\max [(1-1); 0,67; 1] = \max [0; 0,67; 1] = 1$
Максимум из $\max f_{jt}$				$\max\{\max [0,57; 1; 1]\} = 1$

На *втором этапе* проводится выбор максимальной (наилучшей) из полученных максимальных (лучших) критериальных значений по каждой альтернативе. В результате применения решающего правила оптимизма ($\max\{\max [0,57; 1; 1]\} = 1$) выясняется, что ему соответствует нормированное значение, равное 1, которое характеризует две альтернативы (Y_2, Y_3). Таким образом, рациональными (по критерию оптимизма) при нормировании критериальных параметров являются альтернативы Y_2, Y_3 , которые определяют множество недоминируемых альтернатив — множество Парето. Однако при выборе единственного варианта для его реализации необходимо сравнить две выделенные альтернативы между собой для выявления наиболее предпочтительной.

Для этого можно задать весовые коэффициенты важности критериев и провести выбор по взвешенным функциям полезности:

$$f(Y^*) = \max_i \max_j [\beta_{jt} \times f_{jt}(Y)],$$

где β_{jt} — коэффициент важности критерия, или провести попарное сравнение альтернатив по интегральному критерию либо по дополнительно заданному критерию.

Введем дополнительный критерий k_4 , который отражает норму прибыли с единицы данной продукции. Проведем парное сравнение выделенных альтернатив. Результат — в табл. 5.25.

Таблица 5.25. Матрица парных сравнений выделенных альтернатив

	Y_2	Y_3	Σ
Y_2	1	1	2
Y_3	0	1	1

На основании проведенных парных сравнений альтернатив получаем, что Y_2 более предпочтительно, чем Y_3 , $Y_2 \succ Y_3$. Таким образом, наиболее эффективным решением при данном принципе выбора по нормированным значениям критериальных параметров является альтернатива Y_2 .

5.6. Принцип Гурвица

Рассмотренные выше принципы выбора альтернатив (гарантированного результата (пессимизма-максимина) и оптимизма-максимакса) представляют собой две крайние стратегии выбора, ориентирующие ЛПР либо на получение гарантированного, хотя бы и минимального, выигрыша, либо на максимальный выигрыш, но без учета риска на изменение ситуации, при котором возможен полный проигрыш. В практике управленческой деятельности такие крайние стратегии используются достаточно редко, потому что всегда существует риск неполучения требуемого выигрыша. Поэтому в литературе¹ приведен комбинированный подход к процессу выбора, при котором можно корректировать степень приближения к той (пессимизма) или иной (оптимизма) стратегии и который называется *принципом Гурвица*. Для принципа выбора Гурвица характерно использование взвешенных значений принципа *гарантированного результата* (пессимизма) и принципа оптимизма. Каждая стратегия характеризуется своим коэффициентом важности, соответственно $\alpha, \beta = [0, 1]$. Коэффициенты важности взаимосвязаны: $\alpha = 1 - \beta$. Правило выбора, представляющее *принцип Гурвица*, может быть записано в виде

$$f(Y^*) = \alpha \cdot f_{\text{ш}}(Y) + \beta \cdot f_1(Y) = \alpha \cdot f_1(Y) + (1 - \alpha) \cdot f_2(Y),$$

где $f_1(Y)$ — стратегия выбора, характеризующая *принцип гарантированного результата*; $f_2(Y)$ — стратегия выбора, характеризующая *принцип оптимизма*.

¹Евланов Е. Г. Основы теории принятия решения; Жандаров А. М., Ушинский И. К. Решения в проблемных ситуациях; Кононенко А. Ф., Халезов А. Д., Чумаков В. В. Принятие решения в условиях неопределенности. — М.: ВЦ АН СССР, 1991. 190 с.; Лабскер Л. Г. Обобщенный критерий пессимизма-оптимизма Гурвица // Финансовая математика. — М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2001; Планкет Л., Хейл Г. Выработка и принятие управленческих решений.

Учитывая, что

$$f_1(Y) = \max_i \min_j f_{ij}, \quad f_2(Y) = \max_i \max_j f_{ij}$$

можно представить общее выражение для принципа Гурвица в виде правила

$$f(Y^*) = \alpha [\max_i \min_j f_{ij}] + (1 - \alpha) [\max_i \max_j f_{ij}]$$

или

$$f(Y^*) = \max_i [\alpha (\min_j f_{1j}) + (1 - \alpha) (\max_j f_{2j})]. \quad (5.12)$$

Следовательно, наиболее предпочтительной будет та стратегия Y^* , для которой выполняется условие (5.12). При этом в зависимости от значения весового коэффициента α можно получить различные виды принципа выбора.

Так, при изменении его в диапазоне $0 \leq \alpha \leq 1$ получаем:

$$\alpha = \begin{cases} 1 - \text{получим стратегию выбора } \textit{гарантированного результата}; \\ 0 - \text{получим стратегию выбора } \textit{оптимизма}. \end{cases}$$

Задача решается в несколько этапов.

1. На *первом этапе* проводится оценка той стратегии, которая требуется ЛПР для проведения процесса выбора. Задается значение весового коэффициента α , который и определяет различные принципы выбора, а значения целевых критериев приводятся к нормированному виду.

2. На *втором этапе* представленная задача решается с использованием принципа *гарантированного результата*, по решающему правилу:

$$f(Y^*) = \max_i \min_j [f_{ij}^1(Y)],$$

а именно его вторая часть $\min_j f_{ij}^1(Y)$.

По каждой альтернативе для множества целей выбирается ненаилучшее (минимальное) значение функции полезности. Так, например, для структурированной задачи индивидуального выбора класса JA (табл. 5.10) определены альтернативы $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$, критерии $\{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ и функции полезности f_{jc} . И на этом же шаге на основании используемого правила выбора по принципу максимина находим минимальные (худшие) значения критериальных параметров по правилу максиминной стратегии:

$$\min_j f(Y_j) = \min [f_{j1}, f_{j2}, \dots, f_{jn}] \rightarrow \{f_{\min 1}, f_{\min 2}, \dots, f_{\min N}\} = \min f_{ij}^1$$

3. На *третьем этапе* та же задача решается нахождение рациональной альтернативы с использованием принципа *оптимизма* по решающему правилу:

$$f(Y^*) = \max_i \max_j [f_{ij}^2(Y)],$$

и проводится решение второй части $\max f_{jk}^2(Y)$. Здесь по каждой альтернативе для множества целей выбирается лучшее (максимальное) значение функции полезности. На основании правила выбора по принципу оптимизма находятся максимальные (лучшие) значения критериальных параметров по правилу:

$$\max f(Y_j) = \max [f_{j1}, f_{j2}, \dots, f_{jn}] \rightarrow \{f_{\max 1}, f_{\max 2}, \dots, f_{\max N}\} = \max f_{ij}^2.$$

4. На *четвертом этапе* формируется решающее правило по принципу Гурвица вида

$$f(Y^*) = \max_i [\alpha (\min_j f_{ij}^1) + (1 - \alpha) (\max_j f_{ij}^2)].$$

где $\min f_{ij}^1$ — значение функции полезности, отражающее рациональную альтернативу, выбранную по *принципу гарантированного результата*; $\max f_{ij}^2$ — значение функции полезности, отражающее рациональную альтернативу, выбранную по *принципу оптимизма*.

Для этого, используя ранее определенный на этапе 1 коэффициент α , и подставляя найденные на предыдущих этапах значения минимальной и максимальной функций полезности — $(\min f_{ij}^1) = f_1(Y)$ и $(\max f_{ij}^2) = f_2(Y)$ во вторую часть решающего правила Гурвица,

$$[\alpha (\max f_{ij}^1) + (1 - \alpha) \cdot (\max f_{ij}^2)] = f G(Y_i), \quad (5.13)$$

находим по альтернативе (по каждой строке) значение функции полезности, вычисленное по данному правилу, f_i^G .

5. На этапе 5 среди вычисленных по правилу (5.13) значений $\{f_1^G, f_2^G, \dots, f_n^G\}$ проводится выбор наилучшего (максимального) значения функции полезности по решающему правилу:

$$f(Y^*) = \max \{f_1^G, f_2^G, \dots, f_n^G\} = f_{\max}^G(Y_i) \rightarrow Y^*.$$

Таким образом, на основании лучшего значения функции полезности, выбранной на этом этапе, проводится выделение наиболее эффективной альтернативы, отвечающей требованиям принципа Гурвица.

Формальное содержание каждого этапа описывается в матрице, представленной в табл. 5.26.

Пример 3. Рассмотрим задачу выбора ассортиментной структуры закупок, представленную в примере 1 (табл. 5.11). Для выбора продукции используем принцип Гурвица.

В процессе решения будем использовать данные, которые мы получили при решении данной задачи предыдущими методами.

Решаем задачу в пять этапов.

На *первом этапе* определим коэффициент согласования стратегий выбора — параметр α . Примем, что $\alpha = 0,5$; это будет соответствовать нейтральной позиции ЛПР при выборе стратегии формирования рациональной альтернативы. В данном случае считают, что при $\alpha = 0,5$ ЛПР склонен провести процедуру

Таблица 5.26. Матрица выбора по принципу Гурвица

1-й этап					2-й этап	3-й этап	4-й этап
Альтернативы	Критерии (цели)				$\min f_{jt}$	$\max f_{jt}$	
	k_1	k_2	...	k_m			
Y_1	f_{11}	f_{12}		f_{1m}	$\min [f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1m}] =$ $= \min f_1 = f_{1j}$	$\max [f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1m}] =$ $= \max f_1 = f_{1j}^2$	$[\alpha(\min f_{1j}^1) +$ $+ (1 - \alpha)(\max f_{1j}^2)]$
Y_2	f_{21}	f_{22}		f_{2m}	$\min [f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2m}] =$ $= \min f_2 = f_{2j}^2$	$\max [f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2m}] =$ $= \max f_2 = f_{2j}^2$	$[\alpha(\min f_{2j}^1) +$ $+ (1 - \alpha)(\max f_{2j}^2)]$
...	...	...	...	...	...	...	
Y_n	f_{n1}	f_{n2}		f_{nm}	$\min [f_{n1}, f_{n2}, \dots, f_{nm}] =$ $= \min f_n = f_{nj}$	$\max [f_{n1}, f_{n2}, \dots, f_{nm}] =$ $= \max f_n = f_{nj}^2$	$[\alpha(\min f_{nj}^1) +$ $+ (1 - \alpha)(\max f_{nj}^2)]$
						5-й этап →	$\max [\alpha(\min f_{1j}^1) +$ $+ (1 - \alpha)(\max f_{1j}^2)] =$ $= f_{\max}^G(Y_i) \rightarrow Y^*$

выбора, не склоняясь ни к стратегии пессимизма, ни к стратегии оптимизма, а выбирает промежуточную – среднюю стратегию выбора.

Решение проводим при нормированных значениях функции полезности альтернатив.

На *втором этапе* решаем задачу выбора по принципу гарантированного результата (пессимизма).

Тогда с учетом преобразования для параметров критерия k_1 (цена) в виде дополнения $(1 - f_{jk})$ получим матрицу решения по каждой альтернативе (табл. 5.27).

Таблица 5.27. Матрица решений по принципу гарантированного результата

Альтернативы	Критерии (цели)			$\min f_{jk}$
	k_1	k_2	k_3	
Y_1	0,64	0,33	0,57	$\min [(1-0,64); 0,33; 0,57] =$ $= \min [0,36; 0,33; 0,57] = 0,33$
Y_2	0,79	1,00	0,86	$\min [(1-0,79); 1; 0,86] =$ $= \min [0,21; 1; 0,86] = 0,21$
Y_3	1,00	0,67	1,00	$\min [(1-1); 0,67; 1] = \min [0; 0,67; 1] = 0$

На *третьем этапе* с учетом предыдущих замечаний получим матрицу решения в соответствии с принципом оптимизма (табл. 5.28).

Таблица 5.28. Матрица решений по принципу оптимизма

Альтернативы	Критерии (цели)			$\max f_j$
	k_1	k_2	k_3	
Y_1	0,64	0,33	0,57	$\max [(1 - 0,64); 0,33; 0,57] =$ $= \max [0,36; 0,33; 0,57] = 0,57$
Y_2	0,79	1,00	0,86	$\max [(1 - 0,79); 1; 0,86] =$ $= \max [0,21; 1; 0,86] = 1$
Y_3	1,00	0,67	1,00	$\max [(1 - 1); 0,67; 1] = \max [0; 0,67; 1] = 1$

На *четвертом этапе* формируем процедуру расчета функции полезности альтернативы $f^G(Y_i)$ по правилу:

$$[\alpha(\min f_{ij}^1) + (1 - \alpha) \cdot (\max f_{ij}^2)] = f^G(Y_i).$$

Процесс решения с первого по четвертый этап представлен в табл. 5.29.

Таблица 5.29. Матрица выбора по принципу Гурвица (этап 4)

1-й этап ($\alpha = 0,5$)				2-й этап	3-й этап	4-й этап
Альтернативы	Критерии (цели)			$\min f_j$	$\max i$	$[\alpha(\min f_{ij}^1) + (1 - \alpha) \cdot (\max f_{ij}^2)] = f^G(Y_i)$
	k_1	k_2	k_3			
Y_1	0,64	0,33	0,57	0,33	0,57	$[0,5 \cdot (0,33) + (1 - 0,5) \cdot (0,57)] = 0,45$
Y_2	0,79	1,00	0,86	0,21	1	$[0,5 \cdot (0,21) + (1 - 0,5) \cdot (1)] = 0,605$
Y_3	1,00	0,67	1,00	0	1	$[0,5 \cdot (0) + (1 - 0,5) \cdot (1)] = 0,5$

На *пятом этапе* по результатам расчета значений функций полезности для каждой альтернативы по Гурвицу $f^G(Y_i)$ проводим выбор среди полученного множества значений по правилу $[\max \{f_1^G, f_2^G, \dots, f_n^G\} = f_{\max}^G(Y_i) \rightarrow Y^*]$. Результаты выбора представлены в табл. 5.30.

Таблица 5.30. Матрица выбора по принципу Гурвица (этап 4)

1-й этап				2-й этап	3-й этап	4-й этап
Альтернативы	Критерии (цели)			$\min f_j$	$\max f_j$	$[\alpha(\min f_{ij}^1) + (1 - \alpha)(\max f_{ij}^2)]$
	k_1	k_2	k_3			
Y_1	0,64	0,33	0,57	0,33	0,57	0,45
Y_2	0,79	1,00	0,86	0,21	1	0,605
Y_3	1,00	0,67	1,00	0	1	0,5
				5-й этап $\rightarrow$		$\max \{0,45; 0,605; 0,5\} = 0,605$

Таким образом, при использовании стратегии выбора Гурвица получаем наилучшее значение функции полезности, равное 0,605, что соответствует альтернативе Y_2 .

Для проверки правильности полученного решения в процессе выбора обычно используют различные значения параметра α , который меняют с шагом 0,1, и строят итоговую таблицу решения. Тот вариант, который наибольшее число раз определяется как эффективный, выбирается в качестве оптимального варианта решения.

Так, например, получим для нашей задачи следующие результаты выбора при различных значениях параметра α , представленные в табл. 5.31.

Таблица 5.31. Выбор эффективного решения при нескольких параметрах α

α	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	Эффективное решение
Y_1	0,57	0,546	0,522	0,498	0,474	0,45	0,426	0,402	0,378	0,354	0,33	
Y_2	1	0,921	0,842	0,763	0,684	0,605	0,526	0,447	0,368	0,289	0,21	
Y_3	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	
$f(Y_i)$	1	0,921	0,842	0,763	0,684	0,605	0,526	0,447	0,378	0,354	0,33	
Y^*	Y_2, Y_3	Y_2	Y_2	Y_2	Y_2	Y_2	Y_2	Y_2	Y_1	Y_1	Y_1	Y_2

В данном случае наибольшее число раз в качестве рационального выбора, встречается альтернатива Y_2 и именно она выбирается в качестве оптимальной альтернативы решения.

Для сравнения результатов решения данной задачи различными методами при нормировании данных имеем следующие рациональные решения (табл. 5.32).

Таблица 5.32. Матрица выбора эффективных решений

Исходные данные (нормированные)				Принцип пессимизма (максимина)	Принцип оптимизма (максимакса)	Принцип Гурвица
Альтернативы	Критерии (цели)			$\max \min f_{jt}$	$\max \max f_{jt}$	$\max [\alpha(\min f_{ij}^1) + (1 - \alpha) \cdot (\max f_{ij}^2)]$
	k_1	k_2	k_3	f_{jt}	f_{jt}	f_j^G
Y_1	0,64	0,33	0,57	0,33	0,57	0,45
Y_2	0,79	1,00	0,86	0,21	1	0,605
Y_3	1,00	0,67	1,00	0	1	0,5
Эффективное решение Y^*				$Y^* = Y_1$	$Y^* = Y_2$	$Y^* = Y_2$

Используя для решения задач различные стратегии (принципы) выбора эффективного варианта, ориентированные на различные типы ЛПР, получаем различный результат. Это следует иметь в виду при конкретном решении задач принятия решений такого класса.

5.7. Принцип Сэвиджа (минимаксного сожаления)

Стратегия выбора, основанная на использовании стратегии Сэвиджа, характеризуется теми потенциальными потерями, которые может понести ЛПР, если выберет неоптимальное решение. Процедура выбора обычно происходит в три этапа и строится не на использовании функции полезности, а на вычислении промежуточного показателя *функции потерь* (W) на базе имеющихся для каждой альтернативы функций полезности (f_{ij}).

Рассмотрим формальную постановку структурированной задачи индивидуального выбора класса JA , для которой определены множество альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$, вектор критериев эффективности выбора $K = (k_1, k_2, \dots, k_m)$, функции полезности f_{ji} по каждому критерию выбора k_i . Исходные данные задачи представлены в табл. 5.33.

Таблица 5.33. Формальная постановка задачи

Альтернативы	Критерии (цели)			
	k_1	k_2	...	k_m
Y_1	f_{11}	f_{12}		f_{1m}
Y_2	f_{21}	f_{22}		f_{2m}
...	...	...	...	...
Y_n	f_{n1}	f_{n2}		f_{nm}

Данная стратегия сводится к нахождению функции потерь и выбору из множества значений потенциальных потерь в качестве рациональной той альтернативы, потери которой будут наименьшими.

В общем виде задача решается в несколько этапов.

На *первом этапе* для каждого критерия k_j по конкретной альтернативе Y_i определяется максимальное значение функции полезности:

$$\max_j f_{ij} = \max_j f_i | k_j,$$

показывающее наилучший возможный уровень полезности f_i , который можно получить для конкретного критерия k_j . В табл. 5.34 показан процесс проведения этапа 1.

Таблица 5.34. Матрица выбора (этап 1)

Альтернативы	Критерии (цели)			
	k_1	k_2	...	k_m
Y_1	f_{11}	f_{12}		f_{1m}
Y_2	f_{21}	f_{22}		f_{2m}
...	...	...	...	...
Y_n	f_{n1}	f_{n2}		f_{nm}
$\max f_i k_j$	$\max f_{1i} = f_{1\max}$	$\max f_{2i} = f_{2\max}$		$\max f_{mi} = f_{N\max}$

На *втором этапе* на основании полученных максимальных значений $\max f_j$ для каждой альтернативы строится показатель риска (потерь), который вычисляется по следующему решающему правилу:

$$[W(Y_i) | k_j] = W(Y_{ij}) = \max_j f_{ij} - f_{ij}. \quad (5.14)$$

Значение $W(Y_i)$ характеризует потенциальный риск (потерянную выгоду или потери от выбора неоптимальной альтернативы) для конкретного критерия k_j . На этом этапе строится дополнительная матрица потенциальных потерь (матрица сожалений), значение которой вычисляется по решающему правилу определения потерь (5.14). Вид матрицы потерь представлен в табл. 5.35.

Таблица 5.35. Матрица потенциальных потерь (матрица сожалений)

Альтернативы	Критерии (цели)			
	k_1	k_2	...	k_m
Y_1	$W_{11} = (f_{1\max} - f_{11})$	$W_{21} = (f_{2\max} - f_{12})$		$W_{1m} = (f_{2\max} - f_{1m})$
Y_2	$W_{21} = (f_{1\max} - f_{21})$	$W_{22} = (f_{2\max} - f_{22})$		$W_{2m} = (f_{2\max} - f_{2m})$
...	...	...	...	...
Y_n	$W_{n1} = (f_{1\max} - f_{n1})$	$W_{n2} = (f_{n\max} - f_{n2})$		$W_{nm} = (f_{n\max} - f_{nm})$
$\max f_i k_j$	$\max f_{1i} = f_{1\max}$	$\max f_{2i} = f_{2\max}$		$\max f_{ni} = f_{n\max}$

Оценка потенциальных потерь (значение потерь в ячейках табл. 5.35) показывает, насколько близко располагается выбранная альтернатива по сравнению с той, которая будет выбрана в качестве оптимальной альтернативы по тому или иному критерию. В том случае, если это значение равно 0, ЛПР не испытывает сожаления (значение потерь равно 0), так как выбрало правильную альтернативу (ее функция полезности является максимальной из возможных). Если же значение потерь велико, то ЛПР будет испытывать сожаление, так как его потери (при выборе неоптимальной альтернативы) велики, а функция полезности далека от максимально возможной (для оптимальной альтернативы).

На *третьем этапе* производится поиск стратегии с наименьшим показателем максимального риска:

$$f(Y^*) = \min[\max W(Y_{ij})].$$

Таким образом, общее правило выбора оптимальной альтернативы с учетом правила вычисления функции потерь W по принципу Сэвиджа определяется следующей формулой:

$$f(Y^*) = \min_i [\max_j (\max_j f_{ij} - f_{ij})].$$

Здесь из вычисленных значений риска выбора (потенциальных потерь) $\{W_{11}, W_{12}, \dots, W_{1m}, W_{21}, \dots, W_{2m}, \dots, W_{n1}, W_{n2}, \dots, W_{nm}\}$ для каждой альтернативы выбираются максимально возможные значения риска (потерь) по правилу.

$$W(Y_i) = \max_j [\max_j f_{ij} - f_{ij}].$$

Процесс выполнения данного этапа приведен в табл. 5.36.

Таблица 5.36. Матрица решения (этап 3)

Альтернативы	Критерии (цели)				$\max \{W(Y_{ij})\}$
	k_1	k_2	...	k_m	
Y_1	W_{11}	W_{21}		W_{1m}	$\max \{W_{11}, W_{21}, \dots, W_{1m}\}$
Y_2	W_{21}	W_{22}		W_{2m}	$\max \{W_{21}, W_{22}, \dots, W_{2m}\}$
...	...	...	...	...	
Y_n	W_{n1}	W_{n2}		W_{nm}	$\max \{W_{n1}, W_{n2}, \dots, W_{nm}\}$

Таким образом, в графе $\max \{W(Y_{ij})\}$ приведенной таблицы определены максимальные потери по каждой альтернативе.

Выбор наименьшей среди полученных максимальных потерь проводится на *четвертом этапе* процесса выбора.

Решающее правило, применяемое на данном этапе, следующее:

$$f(Y^*) = \min_i [\max_j (\max_j f_{ij} - f_{ij})]$$

или с учетом вычисленных значений потерь:

$$f(Y^*) = \min_i [\max_j \{W(Y_{ij})\}].$$

Для вычисления данного решающего правила строится матрица расчета, приведенная в табл. 5.37.

Таблица 5.37. Матрица решения (этап 4)

Альтернативы	Критерии (цели)				$\max \{W(Y_{ij})\}$
	k_1	k_2	...	k_m	
Y_1	W_{11}	W_{21}		W_{1m}	$W_{1\max}(Y_1)$
Y_2	W_{21}	W_{22}		W_{2m}	$W_{2\max}(Y_2)$
...	...	...	...	...	
Y_n	W_{n1}	W_{n2}		W_{nm}	$W_{n\max}(Y_n)$
Эффективное решение $Y^* =$					$\min[\max W(Y_j)]$

На основании проведенного выбора находится минимально возможное из максимальных значений функции потерь, которому и соответствует наиболее рациональная альтернатива.

Пример 4. Рассмотрим задачу выбора ассортиментной структуры закупок, представленной в примере 1 (табл. 5.11). Для выбора продукции используем принцип Сэвиджа. Применяя процедуру нормирования критериальных зна-

чений функции полезности альтернатив по преобразованию (5.10) получим данные в относительных величинах функции полезности, представленные в табл. 5.38.

Таблица 5.38. Матрица решений в нормированных единицах

Альтернативы	Критерии (цели)		
	k_1	k_2	k_3
Y_1	0,64	0,33	0,57
Y_2	0,79	1,00	0,86
Y_3	1,00	0,67	1,00

Используем для решения исходной задачи (табл. 5.38) данную методику.

На *первом этапе* для каждого критерия k_j по конкретной альтернативе Y_i определяется максимальное значение функции полезности:

$$\max_i f_{i1} = 1 \text{ (для критерия } k_1);$$

$$\max_i f_{i2} = 1 \text{ (для критерия } k_2);$$

$$\max_i f_{i3} = 1 \text{ (для критерия } k_3).$$

Найденные максимальные значения функции полезности приведены в табл. 5.39.

Таблица 5.39. Матрица решений (этап 1)

Альтернативы	Критерии (цели)		
	k_1	k_2	k_3
Y_1	0,64	0,33	0,57
Y_2	0,79	1,00	0,86
Y_3	1,00	0,67	1,00
$\max f_{ij}$	$\max f_{i1} = 1$	$\max f_{i2} = 1$	$\max f_{i3} = 1$

На *втором этапе* на основе полученных максимальных значений функции полезности для каждой альтернативы строится показатель, характеризующий потенциальный риск.

Если для первого критерия k_1 ЛПР выбрало стратегию Y_3 , то значение потерь равно

$$W(Y_{31}) = \max_i f_{i1} - f_{31} = 1 - 1 = 0 \text{ (} i = 3),$$

тем самым ЛПР не будет сожалеть, если выберет данную стратегию в разрезе ее оценки по критерию k_1 .

Если для первого же критерия k_1 ЛПР выбрало стратегию Y_1 , то значение потерь равно

$$W(Y_{11}) = \max_i f_{i1} - f_{11} = 1 - 0,64 = 0,36 \quad (i = 1).$$

Если же для первого критерия k_1 ЛПР выберет стратегию Y_2 , то значение потерь равно

$$W(Y_{21}) = \max_i f_{i1} - f_{21} = 1 - 0,79 = 0,21 \quad (i = 2).$$

Аналогично проводим расчет функций потерь для критериев k_2, k_3 по каждой альтернативе.

На основании полученных значений потенциальных потерь строится матрица сожалений (табл. 5.40).

Таблица 5.40. Матрица сожалений

Альтернативы	Критерии (цели)		
	k_1	k_2	k_3
Y_1	0,36	0,67	0,43
Y_2	0,21	0	0,14
Y_3	0	0,33	0
$\max f_{ij}$	1	1	1

На *третьем этапе* на основании матрицы потерь можно определить максимальные потери по каждой альтернативе:

$$W(Y_1) = \max \{0,36; 0,67; 0,43\} = 0,67;$$

$$W(Y_2) = \max \{0,21; 0; 0,14\} = 0,21;$$

$$W(Y_3) = \max \{0; 0,33; 0\} = 0,33.$$

На *четвертом этапе* проводится выбор наиболее эффективной альтернативы с использованием процедуры выбора из возможных максимальных потерь по каждой альтернативе по решающему правилу:

$$\min[\max \{(0,67; 0,21; 0,33); (0,21; 0; 0,14); (0; 0,33; 0)\}].$$

Оптимальной будет та альтернатива, которая имеет минимальные потенциальные потери, т. е.

$$W(Y_i) = \min\{0,67; 0,21; 0,33\} = 0,21 \quad (i = 2) \rightarrow Y_2.$$

Таким образом, оптимальной здесь представляется альтернатива Y_2 , имеющая минимальные потери выгоды $W = 0,21$ (минимальное сожаление при выборе неоптимального варианта решения) среди всех представленных альтернатив. Результаты решения представлены в табл. 5.41.

Таблица 5.41. Матрица решения (этап 4)

Альтернативы	Критерии (цели)			$\max \{W(Y_{ij})\}$
	k_1	k_2	k_3	
Y_1	0,36	0,67	0,43	$\max\{0,36; 0,67; 0,43\} = 0,67$
Y_2	0,21	0	0,14	$\max\{0,21; 0; 0,14\} = 0,21$
Y_3	0	0,33	0	$\max\{0; 0,33; 0\} = 0,33$
Эффективное решение $Y^* =$				$\min\{0,67; 0,21; 0,33\} = 0,21 \rightarrow Y_2$

Для сравнения результатов решения данной задачи, полученных различными методами, при нормировании значений функции полезности рассмотрим результаты по рациональному решению, представленные в табл. 5.42.

Таблица 5.42. Матрица сравнения выбора эффективных решений по различным стратегиям выбора

Исходные данные (нормированные)				Принцип пессимизма (максимина)	Принцип оптимизма (максимакса)	Принцип Гурвица	Принцип Сэвиджа
Альтернативы	Критерии (цели)			$\max \min f_{jt}$	$\max \max f_{jt}$	$[\alpha Y^1 + (1 - \alpha)Y^2]$	$\min[\max W(Y_{ij})]$
	k_1	k_2	k_3	f_{jt}	f_{jt}	f_j^G	W_{ij}
Y_1	0,64	0,33	0,57	0,33	0,57	0,45	
Y_2	0,79	1,00	0,86	0,21	1	0,605	
Y_3	1,00	0,67	1,00	0	1	0,5	
Эффективное решение Y^*				$Y^* = Y_1$	$Y^* = Y_2$	$Y^* = Y_2$	$Y^* = Y_2$

Решая задачу различными методами, приходим к выводу, что в большинстве случаев в качестве оптимальной альтернативы выбирается вариант $Y^* = Y_2$.

Рассмотрим другой пример, в котором функции полезности формируются по прямой зависимости.

Пример. Задача класса «J».

Формулировка задачи. Рассмотрим задачу восстановления производства № 3 (производство полимерполиола «Ланс», теплофикационной воды, очистки изопентана и др.) предприятия ООО «Тольяттикаучук», которое долгое время не работало, в расчете на перспективный инвестиционный проект в короткие сроки. Для того чтобы восстановить работу этого производства в обычном ритме, в среднем необходимо около года. Но в условиях изменившейся рыночной ситуации (увеличение спроса на каучук), а также для осуществления других задач для предприятия выгодно как можно скорее восстановить производство и начать выпускать продукцию (каучук). Для этого необходимо:

1. Непрерывная работа (без выходных, праздничных дней).
2. Денежные средства для приобретения нового оборудования.
3. Наличие трудовых ресурсов.
4. Грамотная организация процесса восстановления.

Для работы можно привлечь дополнительные организации: «Каучукремстрой», «ВЭМ» и др. Таким образом, можно обеспечить необходимое количество трудовых ресурсов.

Средства для восстановления производства можно получить в результате продажи продукции, производимой тремя остальными производствами, а также у корпорации «СИБУР», в состав которой входит ООО «Тольяттикаучук».

Проблемная ситуация состоит в том, чтобы провести восстановление производства № 3 как можно быстрее, желательно при минимальных затратах, при этом не нарушая обычный ритм работы остальных производств предприятия.

Для принятия решения сформулируем следующие цели:

A_1 — провести восстановление производства № 3 как можно быстрее;

A_2 — обеспечить непрерывную работу трех остальных производств;

A_3 — экономно расходовать средства, при этом обеспечить производство новым оборудованием, и, где это будет обосновано, прибегнуть к ремонту старого оборудования для дальнейшей его работы.

Сформулируем альтернативы:

Y_1 — проводить восстановление производства своими силами, привлекая работников остальных производств, экономя средства, но при этом теряя дополнительное время и ставя под угрозу работу действующих производств;

Y_2 — проводить восстановление производства силами сторонних организаций, расходуя дополнительные средства;

Y_3 — проводить восстановление совместно со сторонними организациями, заменяя, где это обосновано, труд своих работников трудом работников сторонних организаций, тем самым не ставя под угрозу работу остальных производств и обеспечивая контроль за работой сторонних организаций.

Для оценки альтернатив по приведенным целям сформулированы прямые функции полезности в виде категории балльных (чем выше балл, тем лучше) оценок U_{ij} , значения которых приведены в табл. 5.43. При этом имеем в виду, что U_{ij} обозначает функцию полезности, выраженную не в абсолютной шкале, а в балльной.

Таблица 5.43. Исходные данные

Альтернативы	Критерии (цели)		
	A_1	A_2	A_3
Y_1	1	2	3
Y_2	6	5	4
Y_3	9	8	7

1. Рассмотрим принцип максимина.

Оптимальной $U(y^*)$ считается альтернатива, для которой выполняется соотношение

$$U(y^*) = \max_i \min_j U_{ij}.$$

Выбор производится в два этапа. На первом для каждой альтернативы выбираем по соответствующей строке минимальное значение функции полезности.

Для альтернативы Y_1 минимальным из значений $\{1, 2, 3\}$ является значение функции полезности $f_1 = 1$, соответствующее критерию A_1 , для альтернативы Y_2 минимальным из значений $\{6, 5, 4\}$ является значение функции полезности $f_2 = 4$, соответствующее критерию A_3 , для альтернативы Y_3 минимальным из значений $\{9, 8, 7\}$ является значение функции полезности $f_3 = 7$, соответствующее критерию A_3 , т. е.

$$\min U_{1j} = 1; \min U_{2j} = 4; \min U_{3j} = 7.$$

На втором этапе из полученных минимальных значений выбирается максимальное:

$$\max [U_{1j}, U_{2j}, U_{3j}] = \max[1, 4, 7] = 7 \ (i = 7).$$

Оптимальной (по критерию максимина) является альтернатива Y_3 .

2. Рассмотрим принцип оптимизма.

На первом этапе для каждой альтернативы выбираем максимальное значение по соответствующей строке.

Для альтернативы Y_1 максимальным из значений $\{1, 2, 3\}$ является значение 3, соответствующее критерию A_3 , для альтернативы Y_2 максимальным из значений $\{6, 5, 4\}$ является значение 6, соответствующее критерию A_1 , для альтернативы Y_3 максимальным из значений $\{9, 8, 7\}$ является значение 9, соответствующее критерию A_1 :

$$\max U_{1j} = 3, \max U_{2j} = 6, \max U_{3j} = 9.$$

На втором этапе из уже полученных максимальных значений выбирается максимальное:

$$\max [U_{1j}, U_{2j}, U_{3j}] = \max[3, 6, 9] = 9 \ (i = 9).$$

Оптимальной (по критерию оптимизма) является альтернатива Y_3 .

3. Рассмотрим критерий Гурвица.

Исходными данными для выбора по методу Гурвица: для стратегии гарантированного результата

$$\min U_{1j} = 1; \min U_{2j} = 4; \min U_{3j} = 7;$$

для стратегии оптимизма:

$$\max U_{1j} = 3, \max U_{2j} = 6, \max U_{3j} = 9.$$

Пусть весовой коэффициент характеризует степень важности соответствующей стратегии и его значение $\alpha = 0,1$. Получим для первого этапа:

$$\begin{cases} u(y_1) = [\alpha \cdot \min_j U_{1j} + (1-\alpha) \cdot \max_j U_{1j}], \\ u(y_2) = [\alpha \cdot \min_j U_{2j} + (1-\alpha) \cdot \max_j U_{2j}], \\ u(y_3) = [\alpha \cdot \min_j U_{3j} + (1-\alpha) \cdot \max_j U_{3j}]. \end{cases}$$

Подставляя соответствующие значения в систему, получим:

$$U(y_1) = 0,1 \times 1 + (1 - 0,1) \times 3 = 2,8;$$

$$U(y_2) = 0,1 \times 4 + (1 - 0,1) \times 6 = 5,8;$$

$$U(y_3) = 0,1 \times 7 + (1 - 0,1) \times 9 = 8,8.$$

На втором этапе производим выбор на основании следующей стратегии:

$$U(y^*) = \max[U(y_1), U(y_2), U(y_3)] = [2,8; 5,8; 8,8] = 8,8.$$

Оптимальной (по комбинированному принципу Гурвица) будет альтернатива Y_3 .

4. Рассмотрим принцип Сэвиджа.

На первом этапе для каждого критерия A_j по конкретной альтернативе Y_i определяется максимальное значение:

$$\max U_{ij} = 9 \text{ (для критерия } A_1);$$

$$\max U_{2j} = 8 \text{ (для критерия } A_2);$$

$$\max U_{3j} = 7 \text{ (для критерия } A_3).$$

На втором этапе на основе полученных значений для каждой альтернативы строится показатель, характеризующий потенциальный риск.

Если для первого критерия A_1 руководство предприятием выбрало стратегию Y_3 , то значение потерь равно

$$W(y_{31}) = \max U_{i1} - U_{31} = 9 - 9 = 0 \text{ (} i = 3 \text{)}.$$

Если для первого критерия A_1 руководство предприятием выбрало стратегию Y_1 , то значение потерь равно

$$W(y_{11}) = \max U_{i1} - U_{11} = 9 - 1 = 8 \text{ (} i = 1 \text{)}.$$

Если для первого критерия A_1 руководство предприятием выбрало стратегию Y_2 , то значение потерь равно

$$W(y_{21}) = \max U_{i1} - U_{21} = 9 - 6 = 3 \text{ (} i = 2 \text{)}.$$

Для второго критерия A_2 максимальной является альтернатива Y_3 , при выборе ее руководство имеет минимальные потери: $W(y_{32}) = 0$.

Если для второго критерия A_2 руководство предприятием выбрало стратегию Y_1 , то значение потерь равно

$$W(y_{12}) = \max U_{i1} - U_{12} = 8 - 2 = 6 \quad (i = 1).$$

Если для первого критерия A_2 руководство предприятием выбрало стратегию Y_3 , то значение потерь равно

$$W(y_{21}) = \max U_{i1} - U_{21} = 8 - 5 = 3 \quad (i = 2).$$

Для третьего критерия A_3 максимальной является альтернатива Y_3 , при выборе ее руководство имеет минимальные потери: $W(y_{33}) = 0$.

Если для третьего критерия A_3 руководство предприятием выбрало стратегию Y_1 , то значение потерь равно

$$W(y_{31}) = \max U_{i1} - U_{31} = 7 - 3 = 4 \quad (i = 1).$$

Если для третьего критерия A_3 руководство предприятием выбрало стратегию Y_2 , то значение потерь равно

$$W(y_{32}) = \max U_{i1} - U_{32} = 7 - 4 = 3 \quad (i = 2).$$

На основании полученных данных строится матрица сожалений (табл. 5.44).

Таблица 5.44. Матрица сожалений (потерь)

Альтернативы	Критерии (цели)		
	A_1	A_2	A_3
Y_1	8	6	4
Y_2	3	3	3
Y_3	0	0	0

На основании матрицы потерь можно определить максимальные потери по каждой альтернативе:

$$W(Y_1) = \max[8; 6; 4] = 8;$$

$$W(Y_2) = \max[3; 3; 3] = 3;$$

$$W(Y_3) = \max[0; 0; 0] = 0.$$

Оптимальной будет та альтернатива, которая имеет минимальные потери, т. е.

$$W(Y^*) = \min [8; 3; 0] = 0.$$

Выводы. Таким образом, оптимальной здесь представляется альтернатива Y_3 , имеющая минимальные потери выгоды.

Глава 6. ГРУППОВОЙ ВЫБОР ДЛЯ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ЗАДАЧ

6.1. Принятие решений в задачах типа G

К задачам группового выбора относятся однокритериальные задачи с одной вполне определенной ситуацией (типа G); однокритериальные, доопределяемые множеством гипотез (типа GS); многокритериальные с вполне определенной ситуацией (типа GA); многокритериальные, доопределяемые множеством гипотез развития событий (типа GSA).

Одними из наиболее простых задач являются задачи типа G , характеристики которых описаны п. 3.2.

В этих задачах указываются характеристики проблемной ситуации: полная информация о проблеме, множество возможных альтернатив решения, один критерий эффективности, наличие группы экспертов для решения задачи, функции полезности по всем альтернативам, методы группового выбора.

Задачи такого типа имеют простую структуру проблемы, т. е. существует полная информация по проблеме, выбор осуществляется по одному критерию, но решается данная задача группой экспертов. Не вдаваясь в подробности процесса формирования экспертной группы, которые мы будем более подробно рассматривать при исследовании сложных многокритериальных групповых задач, решаемых при неполной информации, представим здесь одну из важнейших процедур группового решения, а именно процедуру согласования мнений экспертов.

Формальная постановка задачи типа G определяется следующими параметрами.

Задана проблемная ситуация S_0 , для которой определено множество допустимых альтернатив $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$. По каждой альтернативе выявлена функция полезности и сформулированы ее значения в виде f_{ij} , т. е. задан вектор значений функции полезности $\{f_{ij}\}$.

Обычно в связи с важностью решаемой задачи определяют несколько ЛПР, которые реализуют процесс решения данной задачи. Тем самым задается группа экспертов G , которые решают данную задачу индивидуально, $G \subseteq \{J_1, J_2, \dots, J_m\}$.

Информация, характеризующая такие задачи, обычно описывается простыми матрицами (табл. 6.1), в которых указываются альтернатива проблемной ситуации и ее функция полезности, вычисленная в какой-либо шкале. Причем таких матриц будет столько, сколько членов в экспертной группе $\{J_1, J_2, \dots, J_m\}$, где m — члены экспертной группы, решающие однокритериальную задачу типа G с n альтернативами.

Для вычисления значений функции предпочтения по каждой альтернативе может быть использована любая шкала: порядковая (ранги); количественная (степени достижения) и др. В дополнение к матрице может быть дана информация об особенностях решения, условиях, ограничениях, возможностях и т. д.

Таблица 6.1. Матрицы описания задач типа G

ЛПР ₁ = J ₁					...	ЛПР _m = J _m				
Альтернативы	Y ₁	Y ₂	...	Y _n	...	Альтернативы	Y ₁	Y ₂	...	Y _n
Функции полезности	f ₁	f ₂		f _n	...	Функции полезности	f ₁	f ₂		f _n

Поэтому основной проблемой в таких задачах является определение оптимальной процедуры выбора альтернатив и согласования мнений членов группы.

В зависимости от выбранной процедуры выбора существует несколько способов реализации схемы выбора. Сама процедура выбора предусматривает решение m индивидуальных задач с n альтернативами, а затем решение каждого эксперта согласовывается специальными методами согласования с результатами решения других экспертов.

Наиболее универсальным методом решения простых индивидуальных задач служит использование метода парных сравнений экспертов. Затем на основании результатов сравнений выбирается среднее по группе в виде медианы (структурной средней) — согласованная со всеми экспертами матрица оценок.

Существуют следующие методы группового выбора:

- выбор простым большинством голосов;
- выбор с учетом весовых коэффициентов;

Простое большинство голосов. После получения матрицы парных сравнений определяется такая матрица (со средними по группе оценками), которая наилучшим образом согласуется с имеющимися матрицами парных сравнений. Такая матрица называется матрицей-медианой $[f_{ij}^*]$ и строится по следующему правилу:

$$\min_f \sum_{S=1}^d \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m |f_{ij}^S - f_{ij}| \Rightarrow |f_{ij}^*|, \quad (6.1)$$

где d — количество ЛПР в экспертной группе (количество матриц парных сравнений при решении задачи); f_{ij}^S — функция полезности альтернативы из матрицы-медианы; f_{ij} — функция полезности текущей альтернативы; m — число альтернатив.

Модуль разности в этом случае всегда равен либо 0 либо 1, поэтому его можно определить как квадрат разности. Тогда формулу 6.1 можно упростить и представить в следующем виде:

$$\min_f \sum_{S=1}^d \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (f_{ij}^S - f_{ij})^2,$$

раскрывая скобки, с учетом того, что для (0, 1)-шкалы имеем $x^2 = x$, получим следующее соотношение:

$$\min_f \sum_{S=1}^d \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (f_{ij}^S - 2f_{ij}^S \cdot f_{ij}). \quad (6.2)$$

Суммируем выражение (6.2) по параметру S и вводим обозначение

$$\sum_{S=1}^d f_{ij}^S = \alpha_{ij},$$

где α_{ij} — количество голосов, поданных d членами экспертной группы за то, что ранг r_i не больше ранга r_j , $r_i \leq r_j$, т. е. что решение Y_i не хуже решения Y_j . Если рассматривается не количество голосов, а количество целей, то задача решается аналогично, при этом считается, что α_{ij} есть суммарное число предпочтений Y_i решению Y_j с точки зрения достижения всех целей.

Тогда с учетом приведенных преобразований получим на основании (6.2) следующее выражение:

$$\min_{f_{ij}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (\alpha_{ij} - 2\alpha_{ij} \cdot f_{ij} + d \cdot f_{ij}) = \min_{f_{ij}} [\sum_{f_{ij}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} - 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} \cdot (\alpha_{ij} - \frac{d}{2})].$$

Взятие минимума по f_{ij} соответствует взятию максимума от второго слагаемого, т. е.

$$\min_{f_{ij}} \sum_{S=1}^d \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m |f_{ij}^S - f_{ij}| = \max_{f_{ij}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} \cdot (\alpha_{ij} - \frac{d}{2}).$$

Достижение максимума по f_{ij} , где значение f принимает соответственно 0 или 1, достигается при следующем решающем правиле:

$$f_{ij}^* = \begin{cases} 1, & \text{если } \alpha_{ij} \geq d/2 \\ 0, & \text{если иначе} \end{cases}$$

где d — количество экспертов в группе, или полное количество целевых критериев.

Правило гласит: если количество поданных голосов больше половины, т. е. $\alpha_{ij} \geq d/2$, то $f_{ij}^* = 1$ (это значит, что решение Y_i более предпочтительно, чем решение Y_j , так как оно собрало большинство голосов), иначе $f_{ij}^* = 0$.

Выбор с учетом весовых коэффициентов. Если эксперты или цели неравноценны между собой, то необходимо задаваться соответствующими весовыми коэффициентами. Таким образом, если имеются коэффициенты важности целей или степени компетентности ЛПР ($\beta_s = 1 \dots d$), то медиана определяется в виде взвешенной суммы поразрядных несовпадений элементов матриц парных сравнений и искомой f_{ij}^* -матрицы, т. е.

$$\min_{f_{ij}} \sum_{S=1}^d \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \beta_s |f_{ij}^S - f_{ij}| \Rightarrow |f_{ij}^*|,$$

если значение β нормировано, т. е.

$$\sum_{S=1}^m \beta_s = 1,$$

то введя величину

$$b_{ij} = \sum_{S=1}^d \beta_s \cdot f_{ij}^S,$$

получим правило формирования элементов медианы:

$$f_{ij}^* = \begin{cases} 1, & \text{если } b_{ij} \geq \frac{1}{2} \\ 0, & \text{если иначе} \end{cases}.$$

На основании полученной результирующей матрицы-медианы можно упорядочить полученные решения. Для этого вычисляются коэффициенты, равные отношению суммы единиц в строке медианы к общему числу единиц (т. е. определяется относительное большинство голосов каждого решения), тем самым вычисляется величина

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^m f_{ij}^*}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij}^*}.$$

Упорядочивая коэффициент α , получаем ранжировку предпочтений по решениям.

6.2. Процедура выбора в структурированных задачах типа GA

Описанный выше метод может быть применен и для вполне определенных многокритериальных задач, если количество критериев незначительно. Для иллюстрации рассмотрим задачу данного типа с небольшим количеством критериев выбора. Приведем пример решения задачи типа GA.

Пример. Для решения проблемной ситуации определили 6 целей (критериев эффективности выбора решения) и множество допустимых решений, состоящих из 4 альтернатив, удовлетворяющих существующим по задаче ограничениям. Определены значения функции полезности по каждой альтернативе в разрезе критериев, уровень которых сформулирован в соответствии с прямой зависимостью по предпочтениям критериальных параметров. Построим матрицу представления задачи (табл. 6.2).

Таблица 6.2. Матрица представления задачи

Альтернативы	Целевые критерии					
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
Y_1	2	1	4	4	3	3
Y_2	1	2	2	2	4	2
Y_3	3	3	1	1	1	1
Y_4	4	4	3	3	2	4

1. Для каждого из множества критериев $\{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6\}$ строим матрицы парных сравнений на основании значений функций полезности (табл. 6.3–6.8).

Таблица 6.3. Сравнение альтернатив по критерию k_1

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	0	1	1
Y_2	1	1	1	1
Y_3	0	0	1	1
Y_4	0	0	0	1

Таблица 6.4. Сравнение альтернатив по критерию k_2

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	1	1	1
Y_2	0	1	1	1
Y_3	0	0	1	1
Y_4	0	0	0	1

Таблица 6.5. Сравнение альтернатив по критерию k_3

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	0	0	0
Y_2	1	1	0	1
Y_3	1	1	1	1
Y_4	1	0	0	1

Таблица 6.6. Сравнение альтернатив по критерию k_4

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	0	0	0
Y_2	1	1	0	1
Y_3	1	1	1	1
Y_4	1	0	0	1

Таблица 6.7. Сравнение альтернатив по критерию k_5

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	1	0	0
Y_2	0	1	0	0
Y_3	1	1	1	1
Y_4	1	1	0	1

Таблица 6.8. Сравнение альтернатив по критерию k_6

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	0	0	1
Y_2	1	1	0	1
Y_3	1	1	1	1
Y_4	0	0	0	1

2. Для полученных матриц вычисляем результирующую матрицу, элементы которой равны сумме однородных элементов матриц парного сравнения. Элемент результирующей матрицы α вычисляем по формуле

$$\sum_{s=1}^d f_{ij}^s = \alpha_{ij}.$$

Поэлементное вычисление дает следующие значения результирующей матрицы:

$$\alpha_{11} = \alpha_{11}|k_1 + \alpha_{11}|k_2 + \alpha_{11}|k_3 + \alpha_{11}|k_4 + \alpha_{11}|k_5 + \alpha_{11}|k_6;$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{12}|k_1 + \alpha_{12}|k_2 + \alpha_{12}|k_3 + \alpha_{12}|k_4 + \alpha_{12}|k_5 + \alpha_{12}|k_6;$$

$$\alpha_{13} = \alpha_{13}|k_1 + \alpha_{13}|k_2 + \alpha_{13}|k_3 + \alpha_{13}|k_4 + \alpha_{13}|k_5 + \alpha_{13}|k_6;$$

$$\alpha_{14} = \alpha_{13}|k_1 + \alpha_{14}|k_2 + \alpha_{14}|k_3 + \alpha_{14}|k_4 + \alpha_{14}|k_5 + \alpha_{14}|k_6;$$

....

$$\alpha_{44} = \alpha_{44}|k_1 + \alpha_{44}|k_2 + \alpha_{44}|k_3 + \alpha_{44}|k_4 + \alpha_{44}|k_5 + \alpha_{44}|k_6.$$

Переходя к расчетам по значениям матриц парных сравнений, получим:

$$\alpha_{11} = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 6;$$

$$\alpha_{12} = 0 + 1 + 0 + 0 + 1 + 0 = 2;$$

...

$$\alpha_{44} = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 6.$$

Полученные данные расчета занесем в результирующую матрицу (табл. 6.9).

Таблица 6.9. Результирующая матрица

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	6	2	2	3
Y_2	4	6	2	5
Y_3	4	4	6	6
Y_4	3	1	0	6

3. Строим результирующую матрицу, используя правило

$$f_{ij}^* = \begin{cases} 1, & \text{если } \alpha_{ij} \geq d/2 \\ 0, & \text{если иначе} \end{cases}.$$

Для каждого элемента матрицы (табл. 6.9) анализируем значение вычисленного значения функции полезности по приведенному правилу: если значение более чем 3 (порог, вычисляемый как половина от общего количества экспертов в группе, т. е. $3 = 6/2$, где $d = 6$), то в соответствующей ячейке матрицы ставим 1, иначе 0. Для строк и столбцов полученной матрицы-медианы подсчитаем сумму баллов (голосов) и выделим их в отдельные строку и столбец. На основании вычислений строим табл. 6.10.

Таблица 6.10. Результирующая матрица-медиана

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4		α
Y_1	1	0	0	1	2	0,182
Y_2	1	1	0	1	3	0,273
Y_3	1	1	1	1	4	0,364
Y_4	1	0	0	1	2	0,182
Σ	4	2	1	4	11	

4. Формируем упорядоченную ранжировку, рассчитывая коэффициент α

Для этого на основании полученной результирующей матрицы-медианы вычисляем коэффициенты, равные отношению суммы значений функции полезности (баллов) в строке матрицы-медианы к общему числу баллов (т. е.

определяем относительное большинство голосов каждого решения), тем самым вычисляем величину коэффициента α по соотношению

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^m f_{ij}^*}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij}}.$$

Рассчитывая коэффициент α ($\alpha_1 = 2/11$, $\alpha_2 = 3/11$, $\alpha_3 = 4/11$, $\alpha_4 = 2/11$) и упорядочивая значения α по приоритету, получим ранжировку предпочтений по альтернативам. На основании значений коэффициентов α получим ранжированные предпочтения альтернатив решений следующего вида:

$$Y_3 \succ Y_2 \succ Y_1 \approx Y_4.$$

Таким образом, более эффективным вариантом решения является альтернатива Y_3 .

Если критериальным признакам можно поставить в соответствие весовые коэффициенты, например $b_1 = 0,3$; $b_2 = 0,2$; $b_3 = 0,15$; $b_4 = 0,1$; $b_5 = 0,1$; $b_6 = 0,15$, то исходную табл. 6.2 можно переписать в виде табл. 6.11.

Таблица 6.11. Исходная матрица с весами целевых критериев

Альтернативы	Целевые критерии					
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
Y_1	2	1	4	4	3	3
Y_2	1	2	2	2	4	2
Y_3	3	3	1	1	1	1
Y_4	4	4	3	3	2	4
Вес критерия	0,3	0,2	0,15	0,1	0,1	0,15

В этом случае процедура поиска рационального решения будет следующей. Решение начинаем с шага 2.

2'. Построим результирующую матрицу по формуле вычисления b_{ij} с учетом коэффициентов b :

$$\sum_{s=1}^d \beta_s \cdot f_{ij}^s = \alpha_{ij}.$$

Поэлементное вычисление дает следующие значения результирующей матрицы:

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= \beta_1 \times \alpha_{11} | k_1 + \beta_2 \times \alpha_{11} | k_2 + \beta_3 \times \alpha_{11} | k_3 + \beta_4 \times \alpha_{11} | k_4 + \beta_5 \times \alpha_{11} | k_5 + \beta_6 \times \alpha_{11} | k_6; \\ \alpha_{12} &= \beta_1 \times \alpha_{12} | k_1 + \beta_2 \times \alpha_{12} | k_2 + \beta_3 \times \alpha_{12} | k_3 + \beta_4 \times \alpha_{12} | k_4 + \beta_5 \times \alpha_{12} | k_5 + \beta_6 \times \alpha_{12} | k_6; \\ \alpha_{13} &= \beta_1 \times \alpha_{13} | k_1 + \beta_2 \times \alpha_{13} | k_2 + \beta_3 \times \alpha_{13} | k_3 + \beta_4 \times \alpha_{13} | k_4 + \beta_5 \times \alpha_{13} | k_5 + \beta_6 \times \alpha_{13} | k_6; \\ \alpha_{14} &= \beta_1 \times \alpha_{14} | k_1 + \beta_2 \times \alpha_{14} | k_2 + \beta_3 \times \alpha_{14} | k_3 + \beta_4 \times \alpha_{14} | k_4 + \beta_5 \times \alpha_{14} | k_5 + \beta_6 \times \alpha_{14} | k_6; \end{aligned}$$

$$\alpha_{44} = \beta_1 \times \alpha_{44} | k_1 + \beta_2 \times \alpha_{44} | k_2 + \beta_3 \times \alpha_{44} | k_3 + \beta_4 \times \alpha_{44} | k_4 + \beta_5 \times \alpha_{44} | k_5 + \beta_6 \times \alpha_{44} | k_6.$$

Переходя к расчетам по значениям матриц парных сравнений, получим

$$\alpha_{11} = 0,3 \times 1 + 0,2 \times 1 + 0,15 \times 1 + 0,1 \times 1 + 0,1 \times 1 + 0,15 \times 1 = 1,0;$$

$$\alpha_{12} = 0,3 \times 0 + 0,2 \times 1 + 0,15 \times 0 + 0,1 \times 0 + 0,1 \times 1 + 0,15 \times 0 = 0,3;$$

...

$$\alpha_{41} = 0,3 \times 0 + 0,2 \times 0 + 0,15 \times 1 + 0,1 \times 1 + 0,1 \times 1 + 0,15 \times 0 = 0,35;$$

.....

$$\alpha_{44} = 0,3 \times 1 + 0,2 \times 1 + 0,15 \times 1 + 0,1 \times 1 + 0,1 \times 1 + 0,15 \times 1 = 1.$$

Полученные данные расчета занесем в результирующую взвешенную матрицу (табл. 6.12).

Таблица 6.12. Результирующая взвешенная матрица

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	0,3	0,5	0,65
Y_2	0,7	1	0,5	0,9
Y_3	0,5	0,5	1	1
Y_4	0,35	0,1	0	1

3'. Так как функции полезности имеют максимальное значение, равное 1, то строим результирующую матрицу-медиану по следующей формуле:

$$f_{ij}^* = \begin{cases} 1, & \text{если } b_{ij} \geq \frac{1}{2} \\ 0, & \text{если иначе} \end{cases}.$$

Данные расчетов представлены в табл. 6.13.

Таблица 6.13. Расчет элементов матрицы-медианы

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	0	1	1
Y_2	1	1	1	1
Y_3	1	1	1	1
Y_4	0	0	0	1

Для строк и столбцов полученной матрицы-медианы подсчитаем сумму значений функции полезности и выделим их в отдельные элементы. На основании вычислений строим табл. 6.14.

Таблица 6.14. Расчет элементов матрицы-медианы

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4		α
Y_1	1	0	1	1	3	0,250
Y_2	1	1	1	1	4	0,333
Y_3	1	1	1	1	4	0,333
Y_4	0	0	0	1	1	0,083
	3	2	3	4	12	

По значениям данной таблицы определяем коэффициент α_i и заносим в табл. 6.14 в графу α .

Имеем следующие вычисленные значения:

$$\alpha_1 = 3/12 = 0,250;$$

$$\alpha_2 = 4/12 = 0,333;$$

$$\alpha_3 = 4/12 = 0,333;$$

$$\alpha_4 = 1/12 = 0,083.$$

На основании значений коэффициентов α_i строим предпочтения:

$$Y_2 \approx Y_3 \succ Y_1 \succ Y_4.$$

Таким образом, без учета коэффициентов важности целей имеем предпочтение типа

$$Y_3 \succ Y_2 \succ Y_1 \approx Y_4.$$

В качестве эффективного решения выбирается $Y^* \rightarrow Y_3$.

С учетом важности целевых критериев получим следующие предпочтения:

$$Y_2 \approx Y_3 \succ Y_1 \succ Y_4.$$

В качестве эффективного решения выбирается $Y^* \rightarrow Y_3 \approx Y_2$.

Глава 7. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ЗАДАЧ

7.1. Пример 1

Задача класса *JA*.

Формулировка задачи. Рассмотрим задачу восстановления в короткие сроки. производства № 3 (производство полимерполиола «Ланс», теплофикационной воды, очистки изопентана и др.) ООО «Тольяттикаучук», которое долгое время не работало. Для того чтобы восстановить работу этого производства в обычном ритме, необходимо в среднем около года. Но в условиях изменившейся рыночной ситуации (увеличение спроса на каучук), а также для осуществления других задач для предприятия выгодно как можно скорее восстановить производство и выпускать продукцию (каучук). Для этого необходимы:

1. Непрерывная работа (без выходных, праздничных дней).
2. Денежные средства для приобретения нового оборудования.
3. Наличие трудовых ресурсов.
4. Грамотная организация процесса восстановления.

Для работы можно привлечь дополнительные организации: «Каучукремстрой», «ВЭМ» и др. Таким образом можно обеспечить необходимое количество трудовых ресурсов.

Средства для восстановления производства получим в результате продажи продукции, производимой тремя остальными производствами, а также у корпорации «СИБУР», в состав которой входит ООО «Тольяттикаучук».

Проблемная ситуация состоит в том, чтобы провести восстановление производства № 3 как можно быстрее, желательно при минимальных затратах, при этом не нарушая обычный ритм работы остальных производств предприятия.

Для принятия решения сформулируем следующие цели:

- A_1 — провести восстановление производства № 3 как можно быстрее;
- A_2 — обеспечить непрерывную работу остальных производств;
- A_3 — экономно расходовать средства, при этом обеспечить производство новым оборудованием и, где это будет обосновано, прибегнуть к ремонту старого оборудования для дальнейшей его работы.

Сформулируем альтернативы:

Y_1 — проводить восстановление производства своими силами, привлекая работников остальных производств, экономя средства, но при этом теряя дополнительное время и ставя под угрозу работу действующих производств;

Y_2 — проводить восстановление производства силами сторонних организаций, расходуя дополнительные средства;

Y_3 — проводить восстановление совместно со сторонними организациями, заменяя, где это обосновано, труд своих работников трудом работников сто-

ронных организаций, тем самым не ставя под угрозу работу остальных производств и обеспечивая контроль за работой сторонних организаций.

Исходные данные представлены в табл. 7.1.

Необходимо сформулировать наиболее рациональное решение при указанных условиях. Решение ведем по нескольким методам, характеризующим разные предпочтения ЛПР при выборе рациональной альтернативы. Используем ранее рассмотренные методы.

Таблица 7.1. Исходные данные по задаче

Альтернативы	Критерии (цели)		
	A_1	A_2	A_3
Y_1	1	2	3
Y_2	6	5	4
Y_3	9	8	7

1. Рассмотрим принцип максимина.

Оптимальной $U(y^*)$ считается альтернатива, для которой выполняется соотношение

$$U(y^*) = \max_i \min_j U_{ij}.$$

Выбор производится в два этапа. На *первом* для каждой альтернативы выбираем по соответствующей строке минимальное значение функции полезности.

Для альтернативы Y_1 минимальным из значений $\{1, 2, 3\}$ является значение функции полезности $f_1 = 1$, соответствующее критерию A_1 , для альтернативы Y_2 минимальным из значений $\{6, 5, 4\}$ является значение функции полезности $f_2 = 4$, соответствующее критерию A_3 .

Для альтернативы Y_3 минимальным из значений $\{9, 8, 7\}$ является значение функции полезности $f_3 = 7$, соответствующее критерию A_3 .

$$\min U_{1j} = 1; \min U_{2j} = 4; \min U_{3j} = 7.$$

На *втором этапе* из полученных минимальных значений выбирается максимальное:

$$\max [U_{1j}, U_{2j}, U_{3j}] = \max [1, 4, 7] = 7 (i=7).$$

Оптимальной (по критерию максимина) является альтернатива Y_3 .

2. Рассмотрим принцип оптимизма.

На *первом этапе* для каждой альтернативы выбираем максимальное значение по соответствующей строке.

Для альтернативы Y_1 максимальное из значений $\{1, 2, 3\}$ является значение 3, соответствующее критерию A_3 ; для альтернативы Y_2 максимальным из

значений $\{6, 5, 4\}$ является значение 6, соответствующее критерию A_1 ; для альтернативы Y_3 минимальным из значений $\{9, 8, 7\}$ является значение 9, соответствующее критерию A_1 :

$$\max U_{1j} = 3, \max U_{2j} = 6, \max U_{3j} = 9.$$

На *втором этапе* из уже полученных максимальных значений выбирается максимальное:

$$\max[U_{1j}, U_{2j}, U_{3j}] = \max[3, 6, 9] = 9 (I = 9).$$

Оптимальной (по критерию оптимизма) является альтернатива Y_3 .

3. Рассмотрим критерий Гурвица.

Исходными данными для выбора по методу Гурвица будут данные, полученные по стратегиям, сформулированным ранее:

- для стратегии гарантированного результата:

$$\min U_{1j} = 1, \min U_{2j} = 4, \min U_{3j} = 7;$$

- для стратегии оптимизма:

$$\max U_{1j} = 3, \max U_{2j} = 6, \max U_{3j} = 9.$$

Пусть весовой коэффициент характеризует степень важности соответствующей стратегии и его значение $\alpha = 0,1$, получим для первого этапа:

$$\begin{cases} u(y_1) = \left[\alpha \cdot \min_j U_{1j} + (1 - \alpha) \cdot \max_j U_{1j} \right], \\ u(y_2) = \left[\alpha \cdot \min_j U_{2j} + (1 - \alpha) \cdot \max_j U_{2j} \right], \\ u(y_3) = \left[\alpha \cdot \min_j U_{3j} + (1 - \alpha) \cdot \max_j U_{3j} \right]. \end{cases}$$

Подставляя соответствующие значения в систему, получим:

$$U(y_1) = 0,1 \times 1 + (1 - 0,1) \times 3 = 2,8;$$

$$U(y_2) = 0,1 \times 4 + (1 - 0,1) \times 6 = 5,8;$$

$$U(y_3) = 0,1 \times 7 + (1 - 0,1) \times 9 = 8,8.$$

На втором этапе производим выбор на основании следующей стратегии:

$$U(y^*) = \max[U(y_1), U(y_2), U(y_3)] = [2,8; 5,8; 8,8] = 8,8.$$

Оптимальной (по комбинированному принципу Гурвица) будет альтернатива Y_3 .

4. Рассмотрим принцип Сэвиджа.

На первом этапе для каждого критерия A_j по конкретной альтернативе Y_i определяется максимальное значение:

$$\max U_{ij} = 9 \text{ (для критерия } A_1);$$

$$\max U_{2j} = 8 \text{ (для критерия } A_2);$$

$$\max U_{3j} = 7 \text{ (для критерия } A_3).$$

На *втором этапе* на основе полученных значений для каждой альтернативы строится показатель, характеризующий потенциальный риск.

Если для первого критерия A_1 руководство предприятием выбрало стратегию Y_3 , то значение потерь равно

$$W(y_{31}) = \max U_{i1} - U_{31} = 9 - 9 = 0 \text{ (} i = 3 \text{)}.$$

Если для первого критерия A_1 руководство предприятием выбрало стратегию Y_1 , то значение потерь равно

$$W(y_{11}) = \max U_{i1} - U_{11} = 9 - 1 = 8 \text{ (} i = 1 \text{)}.$$

Если для первого критерия A_1 руководство предприятием выбрало стратегию Y_2 , то значение потерь равно

$$W(y_{21}) = \max U_{i1} - U_{21} = 9 - 6 = 3 \text{ (} i = 2 \text{)}.$$

Для второго критерия A_2 максимальной является альтернатива Y_3 , при выборе ее руководство имеет минимальные потери: $W(y_{32}) = 0$.

Если для второго критерия A_2 руководство предприятием выбрало стратегию Y_1 , то значение потерь равно

$$W(y_{12}) = \max U_{i1} - U_{12} = 8 - 2 = 6 \text{ (} i = 1 \text{)}.$$

Если для второго критерия A_2 руководство предприятием выбрало стратегию Y_3 , то значение потерь равно

$$W(y_{21}) = \max U_{i1} - U_{21} = 8 - 5 = 3 \text{ (} i = 2 \text{)}.$$

Для третьего критерия A_3 максимальной является альтернатива Y_3 , при выборе ее руководство имеет минимальные потери: $W(y_{33}) = 0$.

Если для третьего критерия A_3 руководство предприятием выбрало стратегию Y_1 , то значение потерь равно

$$W(y_{31}) = \max U_{i1} - U_{31} = 7 - 3 = 4 \text{ (} i = 1 \text{)}.$$

Если для третьего критерия A_3 руководство предприятием выбрало стратегию Y_2 , то значение потерь равно

$$W(y_{32}) = \max U_{i1} - U_{32} = 7 - 4 = 3 \text{ (} i = 2 \text{)}.$$

На основании полученных данных строится матрица сожалений.

Альтернативы	Критерии (цели)		
	A_1	A_2	A_3
Y_1	8	6	4
Y_2	3	3	3
Y_3	0	0	0

На основании матрицы потерь можно определить максимальные потери по каждой альтернативе.

$$W(y_1) = \max [8; 6; 4] = 8;$$

$$W(y_2) = \max [3; 3; 3] = 3;$$

$$W(y_3) = \max [0; 0; 0] = 0.$$

Оптимальной будет та альтернатива, которая имеет минимальные потери, т. е.

$$W(y^*) = \min [8; 3; 0] = 0.$$

Выводы. Таким образом, оптимальной здесь представляется альтернатива Y_3 , имеющая минимальные потери выгоды.

7.2. Пример 2

Задача класса JA.

Рассмотрим задачу выбора бытовой техники в гипермаркете электроники. Сформулируем несколько целевых критериев для выбора телевизора:

A_1 — цена, руб.; A_2 — диагональ, см; A_3 — срок гарантии, г.

Выбор производится из группы видов продукции, выпускаемых фирмами-производителями: *SAMSUNG* (Y_1); *SONY* (Y_2); *LG* (Y_3).

Исходные данные по задаче приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2. Обобщенная постановка задачи

Альтернативы	Критерии (цели)		
	A_1	A_2	A_3
Y_1	2	5	8
Y_2	6	3	7
Y_3	9	1	4

Это многокритериальная задача индивидуального выбора с полной информацией, где A определяет множество целей выбора (критерии выбора); Y — множество альтернатив, среди которых проводится выбор.

Данный тип задач имеет несколько целей (критериев) и характеризуется вполне определенной проблемной ситуацией.

Рассмотрим решения этой задачи методом выбора по решающим правилам: максимина, оптимизма, Гурвица, Сэвдиджа.

1. Принцип максимина (гарантированного результата).

Принцип максимина заключается в выборе в качестве наиболее эффективной той альтернативы (стратегии), которая имеет наибольшее среди наименьших по всем альтернативам значение функции полезности или фактора. Данная стратегия ориентирована на получение гарантированного минимума желательности (не хуже чем «лучший из худших»).

Рассмотрим действие принципа максимина на задаче. В соответствии с решающим правилом оптимальной ($U(y^*)$) считается альтернатива, для которой выполняется соотношение

$$U(y^*) = \max_i \min_j U_{ij}.$$

Методика выбора включает в себя два этапа.

На *первом этапе* для каждой альтернативы выбираем по соответствующей строке минимальное значение функции полезности. Для альтернативы Y_1 минимальным из значений $\{2, 5, 8\}$ является значение функции полезности $U_1 = 2$, соответствующее критерию A_1 , для альтернативы Y_2 минимальным из значений $\{6, 3, 7\}$ является значение функции полезности $U_2 = 3$, соответствующее критерию A_2 , для альтернативы Y_3 минимальным из значений $\{9, 1, 4\}$ является значение функции полезности $U_3 = 1$, соответствующее критерию A_2 .

На *втором этапе* из полученных минимальных значений проводится выбор максимального:

$$\max [U_1, U_2, U_3] = \{2, 3, 1\} = 3.$$

Максимальным из существующих минимальных является значение, равное 3, которое соответствует второй альтернативе. Таким образом, оптимальной (по критерию максимина) является альтернатива Y_2 .

2. Принцип оптимизма.

При решении задач, относящихся к простым задачам и имеющих четкую структуризацию, обычно применяют некоторый спектр методов, одним из которых является *принцип оптимизма*. Структуризация проблемной ситуации состоит в исследовании и анализе структуры элементов проблемы, установлении связи между ними, решаемой проблемой и другими проблемами, предшествующими данной, т. е. исходная проблема разбивается на составные части и упорядочивается.

Принцип оптимизма заключается в выборе в качестве наиболее эффективной той альтернативы (стратегии), которая имеет наибольшее из наибольших по всем альтернативам значение функции полезности или фактора, т. е. прин-

цип оптимизма (по правилу «лучший из лучших») учитывает возможность получения максимального уровня желательности. Эта стратегия реализуется решающим правилом вида:

$$U(y^*) = \max_i \max_j U_{ij}.$$

Проведем решение исходной задачи (табл. 7.2) с использованием данной методики.

Решение задачи по принципу оптимизма.

На первом этапе для каждой альтернативы выбираем максимальное значение по соответствующей строке.

Для альтернативы Y_1 максимальным из значений $\{2, 5, 8\}$ является значение 8, соответствующее критерию A_3 , для альтернативы Y_2 максимальным из значений $\{6, 3, 7\}$ является значение 7, соответствующее критерию A_3 , для альтернативы Y_3 максимальным из значений $\{9, 1, 4\}$ является значение 9, соответствующее критерию A_1 .

На втором этапе из уже полученных максимальных значений выбирается максимальное:

$$\max [U_1, U_2, U_3] = \{8, 7, 9\} = 9.$$

Оптимальной (по критерию оптимизма) является альтернатива Y_1 .

3. Критерий Гурвица.

Для принципа выбора Гурвица характерно использование взвешенных значений принципа *гарантированного результата* (пессимизма) и принципа *оптимизма*. Здесь каждая стратегия характеризуется своим коэффициентом важности стратегии $\alpha, \beta = [0, 1]$. Функция выбора, описывающая принцип Гурвица, может быть записана в виде

$$U(y^*) = \alpha \cdot U_1(y) + (1 - \alpha) \cdot U_2(y),$$

где $U_1(y)$ — стратегия выбора, характеризующая принцип гарантированного результата; $U_2(y)$ — стратегия выбора, характеризующая принцип оптимизма.

Учитывая, что

$$U_1(y) = \max_i \min_j U_{ij};$$

$$U_2(y) = \max_i \max_j U_{ij},$$

можно представить общее выражение для принципа Гурвица в виде

$$U(y^*) = \alpha \max_i \min_j U_{ij} + (1 - \alpha) \max_i \max_j U_{ij}$$

или

$$U(y^*) = \max_i [\alpha \cdot \min_j U_{ij} + (1 - \alpha) \cdot \max_j U_{ij}].$$

Следовательно, наиболее предпочтительна стратегия Y^* , для которой выполняется последнее условие стратегии выбора. При этом в зависимости от значения весового коэффициента α можно получить различные стратегии выбора при изменении его в диапазоне $0 \leq \alpha \leq 1$: если $\alpha = 1$, то получим принцип *гарантированного результата*; если $\alpha = 0$, получим принцип *оптимизма*.

Проведем решение исходной задачи (табл. 7.2) с использованием данной методики.

Решение задачи по принципу Гурвица.

1. Задаем коэффициент α , который характеризует ориентацию на принцип максимина или принцип оптимизма и $0 \leq \alpha \leq 1$. Пусть $\alpha = 0,6$.

2. Решаем задачу по формуле $Y^* \Rightarrow \max_i (\alpha \min_j U_{ij} + (1 - \alpha) \max_j U_{ij})$ в два этапа:

2.1. Для каждой альтернативы находим

$$\alpha \cdot \min_j U_{ij} + (1 - \alpha) \max_j U_{ij},$$

для чего используем уже вычисленные значения по предыдущим задачам (значения $\min_j U_{ij}$, $\max_j U_{ij}$ в табл. 7.3).

Исходными данными для выбора по методу Гурвица будут данные, полученные по стратегиям гарантированного результата и оптимизма.

Таблица 7.3. Принцип Гурвица

Альтернативы Y_i	Критерии (цели)					Значение предпочтений по Гурвицу	Весовой коэффициент
	A_1	A_2	A_3	$\min U_{ij}$	$\max U_{ij}$		
Y_1	2	5	8	2	8	4,4	0,6
Y_2	6	3	7	3	7	4,6	0,6
Y_3	9	1	4	1	9	4,2	0,6
min	2	1	4		7		
max	9	5	8	3		4,6	

Пусть весовой коэффициент характеризует степень важности соответствующей первой стратегии, а его значение α примем равным 0,6. Тогда получим для первого этапа:

$$\begin{cases} u(y_1) = [\alpha \cdot \min_j U_{1j} + (1 - \alpha) \cdot \max_j U_{1j}], \\ u(y_2) = [\alpha \cdot \min_j U_{2j} + (1 - \alpha) \cdot \max_j U_{2j}], \\ u(y_3) = [\alpha \cdot \min_j U_{3j} + (1 - \alpha) \cdot \max_j U_{3j}]. \end{cases}$$

Подставляя соответствующие значения в систему, получим:

$$U(y_1) = 0,6 \cdot 2 + (1 - 0,6) \cdot 8 = 4,4;$$

$$U(y_2) = 0,6 \cdot 3 + (1 - 0,6) \cdot 7 = 4,6;$$

$$U(y_3) = 0,6 \cdot 1 + (1 - 0,6) \cdot 9 = 4,2.$$

Подставим их в графу «Значение предпочтений по Гурвицу» табл. 7.3.

2.2. На втором этапе производим выбор в соответствии с правилом:

$$U(y^*) = \max [U(y_1), U(y_2), U(y_3)] = [4,4; 4,6; 4,2] = 4,6 \ (i = 2).$$

Оптимальной (по комбинированному принципу Гурвица) будет альтернатива Y_2 , значение функции полезности которой равно 4,6.

Для оценки влияния коэффициента α на уровень предпочтений по Гурвицу проведем анализ значений для различных коэффициентов (табл. 7.4).

Таблица 7.4. Значения предпочтений по Гурвицу для различных коэффициентов α

α	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
Y_1	7,4	6,8	6,2	5,6	5	4,4	3,8	3,2	2,6	
Y_2	6,6	6,2	5,8	5,4	5	4,6	4,2	3,8	3,4	
Y_3	8,2	7,4	6,6	5,8	5	4,2	3,4	2,6	1,8	
Y^*	8,2	7,4	6,6	5,8	5	4,6	4,2	3,8	3,4	8,2

На основании данных значений можно сказать, что общим правилом выбора по всем значениям α будет вариант с $\alpha = 0,1$, для которого оптимальным является вариант 1 (Y_1) с функцией предпочтения, равной 8,2.

4. Принцип Сэвиджа (принцип минимаксного сожаления).

Стратегия выбора, основанная на использовании стратегии Сэвиджа, характеризуется теми потенциальными потерями, которые ЛПР может понести, если выберет неоптимальное решение. Процедура выбора обычно происходит в три этапа и строится на вычислении промежуточного показателя функции потерь (W) на базе имеющихся для каждой альтернативы функции полезности (U_{ij}).

На *первом этапе* для каждого критерия A_j по конкретной альтернативе y_i определяется максимальное значение функции полезности:

$$\max_i U_{ij} = \max_i U_i | A_j,$$

показывающей наилучший возможный уровень полезности U_j , который можно получить для конкретного критерия A_j .

На *втором этапе* на основании полученных значений для каждой альтернативы строится показатель

$$w(y_i) | A_j = w(y_{ij}) = \max_i U_{ij} - U_{ij},$$

характеризующий потенциальный риск (потерянную выгоду от выбора неоптимальной альтернативы).

На *третьем этапе* производится выбор стратегии с наименьшим показателем риска:

$$U(y^*) = \min w(y_{ij}).$$

Проведем решение исходной задачи (табл. 7.2) с использованием данной методики.

Решение задачи по принципу Сэвиджа.

На *первом этапе* для каждого критерия A_j по конкретной альтернативе Y_i определяется максимальное значение:

$$\max_i U_{i1} = 9 \text{ для критерия } A_1;$$

$$\max_i U_{i2} = 5 \text{ для критерия } A_2;$$

$$\max_i U_{i3} = 8 \text{ для критерия } A_3.$$

Данные значения приведены в табл. 2.2 в строке max.

На *втором этапе* на основе полученных значений для каждой альтернативы строится показатель, характеризующий потенциальный риск.

Если для первого критерия A_1 руководство предприятием выбрало стратегию Y_3 , то значение потерь равно

$$w(y_{31}) = \max_i U_{i1} - U_{31} = 9 - 9 = 0 \quad (i = 3).$$

Если для первого критерия A_1 руководство предприятием выбрало стратегию Y_1 , то значение потерь:

$$w(y_{11}) = \max_i U_{i1} - U_{11} = 9 - 2 = 7 \quad (i = 1).$$

Если для первого критерия A_1 руководство предприятием выбрало стратегию Y_2 , то значение потерь

$$w(y_{21}) = \max_i U_{i1} - U_{21} = 9 - 6 = 3 \quad (i = 2).$$

Для второго критерия A_2 максимальной является альтернатива Y_1 , при выборе ее руководство имеет минимальные потери: $w(y_{12}) = 0$.

Если для второго критерия A_2 руководство предприятием выбрало стратегию Y_2 , то значение потерь

$$w(y_{22}) = \max_i U_{i2} - U_{22} = 5 - 3 = 2, (i = 2).$$

Если для второго критерия A_2 руководство предприятием выбрало стратегию Y_3 , то значение потерь

$$w(y_{32}) = \max_i U_{i2} - U_{32} = 5 - 1 = 4, (i = 3).$$

Для второго критерия A_3 максимальной является альтернатива Y_1 , при выборе ее руководство имеет минимальные потери: $w(y_{13}) = 0$.

Если для третьего критерия A_3 руководство предприятием выбрало стратегию Y_2 , то значение потерь

$$w(y_{12}) = \max_i U_{i1} - U_{12} = 8 - 7 = 1 \quad (i = 2).$$

Если для третьего критерия A_3 руководство предприятием выбрало стратегию Y_3 , то значение потерь равно:

$$w(y_{33}) = \max_i U_{i3} - U_{33} = 8 - 4 = 4 \quad (i = 3).$$

На основании полученных данных строится матрица сожалений (табл. 7.5).

Таблица 7.5. Матрица сожалений

Альтернативы	Критерии (цели)		
	A_1	A_2	A_3
Y_1	7	0	0
Y_2	3	2	1
Y_3	0	4	4

На основании матрицы потерь можно определить максимальные потери по каждой альтернативе:

$$W(y_1) = \max[7; 0; 0] = 7;$$

$$W(y_2) = \max[3; 2; 1] = 3;$$

$$W(y_3) = \max[0; 4; 4] = 4.$$

Оптимальной будет та альтернатива, которая имеет минимальные потери, т. е.

$$W(y^*) = \min[7; 3; 4] = 3.$$

Выводы. Таким образом, оптимальной представляется альтернатива Y_2 , имеющая минимальные потери выгоды.

7.3. Компьютерное решение задачи выбора

1. Принцип максимина.

Решение исходной задачи (табл. 7.2) в интегрированной системе Excel предполагает решение задачи в два этапа. Исходные данные представлены в табл. 7.6.

Первый этап. Для каждой альтернативы выбираем по соответствующей строке минимальное значение функции полезности (рис. 7.1).

Для этого в ячейке E12 с помощью оператора «Мастер функции» находим минимальное значение функции полезности $Y1$:

Таблица 7.6. Исходные данные в Excel

	A	B	C	D	E
9	Принцип максимина				
10	Альтернативы	Критерии (цели)			
11		A1	A2	A3	min
12	Y1	2	5	8	2
13	Y2	6	3	7	3
14	Y3	9	1	4	1
15	max				3

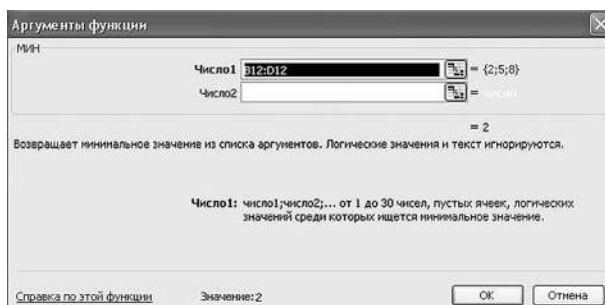
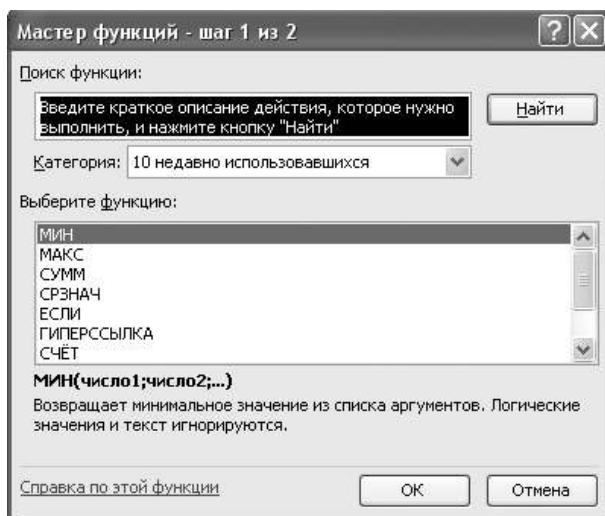


Рис. 7.1. Функция определения минимального значения

Затем копируем эту формулу в ячейки E13 : E14. В результате получим минимальное значение функции полезности Y_2 и Y_3 .

Второй этап. Из полученных минимальных значений проводится выбор максимального.

Для этого в ячейке E15 аналогичным способом, с помощью оператора «Мастер функции», находим максимальное значение из диапазона E12 : E14.

2. Принцип оптимизма

Задача решается тем же образом, что и в предыдущем случае, с той разницей, что на первом этапе мы для каждой альтернативы выбираем по соответствующей строке максимальное значение функции полезности (табл. 7.7).

Таблица 7.7. Расчет максимальных значений функции

	A	B	C	D	E
18	Принцип оптимизма				
19	Критерии (цели)				
20	Альтернативы	A1	A2	A3	max
21	Y1	2	5	8	8
22	Y2	6	3	7	7
23	Y3	9	1	4	9
24	max				9

2. Принцип Гурвица.

Таблица 7.8. Окончательная матрица задачи

	A	B	C	D	E	F	G	H
27	Принцип Гурвица							
28	Критерии (цели)							
29	Альтернативы	A1	A2	A3	min	max	Знач. Предпочт. по Гурвицу	Весовой коэф. α
30	Y1	2	5	8	2	8	4,4	0,6
31	Y2	6	3	7	3	7	4,6	0,6
32	Y3	9	1	4	1	9	4,2	0,6
33	min	2	1	4		7		
34	max	9	5	8	3		4,6	

Для решения данным способом мы проводим следующую процедуру расчета:

1. В ячейку G30 (табл. 7.8) вводим формулу: $=H30 \times E30 + (1 - H30) \times F30$, затем копируем ее в ячейки G31 : G32.

2. В ячейке G34 находим максимальное значение из диапазона G30 : G32.

Для оценки влияния коэффициента α на уровень предпочтений по Гурвицу проводим анализ значений для различных коэффициентов согласно той же формуле: $u(y) = [\alpha \cdot \min U + (1 - \alpha) \cdot \max U]$.

35											
36	Значение предпочтений по Гурвицу для различных коэффициентов α										
37	α	Возможные значения весового коэф. α									max
38		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
39	Y1	7,4	6,8	6,2	5,6	5	4,4	3,8	3,2	2,6	
40	Y2	6,6	6,2	5,8	5,4	5	4,6	4,2	3,8	3,4	
41	Y3	8,2	7,4	6,6	5,8	5	4,2	3,4	2,6	1,8	
42	Y*	8,2	7,4	6,6	5,8	5	4,6	4,2	3,8	3,4	8,2

Рис. 7.2. Матрица решения по Гурвицу

3. Принцип Сэвиджа.

На *первом этапе* для каждого критерия A по конкретной альтернативе Y_i определяется максимальное значение (табл. 7.9).

Таблица 7.9. Матрица решения по Сэвиджу

	A	B	C	D	E	F
45	Принцип Сэвиджа					
46	Альтернативы	Критерии (цели)				
47		A1	A2	A3	min	max
48	Y1		2	5	8	2
49	Y2		6	3	7	3
50	Y3		9	1	4	1
51	min		2	1	4	7
52	max		9	5	8	3

Для этого в ячейке B52 с помощью оператора «Мастер функции» находим максимальное значение функции полезности A1, затем копируем эту формулу в B52 : D52.

На *втором этапе* на основе полученных значений для каждой альтернативы строится показатель, характеризующий потенциальный риск.

На основании полученных данных строится матрица сожалений (табл. 7.10).

Таблица 7.10. Матрица сожалений

	A	B	C	D	E
54	Матрица сожалений				
55	Альтернативы	Критерии (цели)			
56		A1	A2	A3	max
57	Y1		7	0	7
58	Y2		3	2	3
59	Y3		0	4	4
60	min				3

В ячейку B57 вводим формулу =B52–B48, в ячейку B58 вводим формулу =B52–B49, в ячейку B59 вводим формулу =B52–B50. Далее аналогичным образом производим расчет в ячейках C57 : D59. На основании матрицы потерь определяем максимальные потери по каждой альтернативе.

Для этого в ячейке E57 с помощью оператора «Мастер функции» находим максимальное значение Y1, затем копируем эту формулу в E58 : E59.. Оптимальной будет та альтернатива, которая имеет минимальные потери, т. е. в ячейке E60 с помощью оператора «Мастер функции» находим минимальное значение из диапазона E57 : E59.

Раздел 3. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ

Глава 8. РЕШЕНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

8.1. Постановка и виды многокритериальных задач

Многокритериальными называются задачи принятия решений, у которых количество критериев достижения цели больше двух¹:

$$K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\},$$

а сами задачи характеризуются несколькими альтернативами:

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}.$$

Такого рода задачи характеризуются также полной или не совсем определенной информацией по проблемной ситуации, индивидуальным выбором (задачи типа JA, JAS).

Постановка задачи типа JA . Известна следующая информация: множество альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$; множество целей решения $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$ с возможными заданными приоритетами целей по их важности $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$. Для каждой альтернативы по каждой цели решения необходимо оценить значение функции предпочтения $F = (f_{11}, f_{12}, \dots, f_{21}, \dots, f_{mk})$.

Матрица описания такой задачи представлена в табл. 8.1, где A_e — цели (критерии); b_i — приоритеты критериев; f_{ij} — функция предпочтения.

Задачи данного типа можно разделить по количеству и структуризации множества критериев на несколько разновидностей, каждая из которых требует адекватных методов решения. По указанным признакам можно выделить следующие виды задач типа JA (табл. 8.2):

¹ *Елтаренко Е. А.* Методы оценки и выбора инженерных и управленческих решений; *Елтаренко Е. А.* Элементы теории измерений. — М.: МИФИ, 1979. 39 с.; *Емельянов С. В.* Многокритериальные методы принятия решений. — М.: Наука, 1985. 217 с.; Жуковский В. И. Многокритериальное принятие решений в условиях неопределенности. — М.: МНИИПУ, 1988. 86 с.; *Кини Р., Райфа Х.* Принятие решений при многих критериях; *Панченко Е. Г.* Теория принятия управленческих решений; Теория выбора и принятия решений: Учеб. пособие / Под ред. И. М. Макарова; *Фишберн П.* Теория полезности для принятия решений.

Таблица 8.1. Матрица описания задач типа JA

Критерии (цели)		A_1	A_2	...	A_k
Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1k}
	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2k}
	...	...	...	...	...
	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mk}
Приоритеты целей		b_1	b_2	...	b_k

Таблица 8.2. Разновидности задачи типа JA

		Количество критериев	
		1. Несколько	2. Множество
Структуризация пространства критериев	1. Структурированное	$JA(11)$	$JA(12)$
	2. Неструктурированное	$JA(21)$	$JA(22)$

Задача типа $JA(11)$ — многокритериальная задача индивидуального выбора, критерии которой имеют некоторую заданную структуру, а количество критериев незначительно.

Задача типа $JA(12)$ — многокритериальная задача индивидуального выбора, критерии которой имеют некоторую заданную структуру, а количество критериев весьма значительно.

Задача типа $JA(21)$ — многокритериальная задача индивидуального выбора, критерии которой не имеют структуры, а значит, представляют собой независимые по полезности показатели цели. В этой связи построение критериальной метрики несколько отличается от того случая, когда критерии образуют некоторую зависимую структуру.

Задача типа $JA(22)$ — многокритериальная задача индивидуального выбора, критерии которой не имеют заданной структуры и число их весьма значительно.

Для каждой разновидности задач используются разные методы их решения.

Так, например, для решения задач с небольшим количеством критериев, система которых не позволяет задать структуру критериального пространства (тип $JA(21)$), можно применять методы решения для структурированных задач (методы гарантированного результата, оптимизма, Гурвица, Сэвиджа).

В литературе для задач типа $JA12$, пространство критериев которых позволяет задать некоторое разбиение, т. е сформировать иерархическую структуру, используются принципы решения, называемые *методом дерева целей* или *методом анализа иерархий (МАИ)*.

Для решения задач типа $JA22$ со значительным количеством неструктурированных критериев обычно применяют специальные методы решения многокритериальных задач, основанные на определении многомерной метрики между сравниваемыми альтернативами и проведении на их основе ранжирования вариантов.

Для решения задач типа $JA11$ с небольшим количеством структурированных критериев обычно применяют специальные методы, основанные на оценке отдельных структурных ветвей, взвешенных по важности альтернатив.

Задачи типа JSA также относятся к задачам многокритериального индивидуального выбора, но имеют неполное описание проблемной ситуации. Для решения такого типа задач необходимо либо получить дополнительную информацию, уточняющую проблему, и тогда задача переходит в класс задач типа JA , либо доопределить проблему системой гипотез $\{S\}$ возможного развития ситуации. В случае доопределения проблемы задача разбивается на несколько задач типа JA , каждая из которых решается для отдельной возможной гипотезы развития проблемной ситуации.

Постановка задачи JSA. Для каждой цели (критерия) из множества целей решения $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$ задается степень важности цели при решении задачи $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$, а сама исходная ситуация S_0 доопределяется гипотетическими ситуациями S_j , которые описывают возможные сценарии ее дальнейшего развития в зависимости от действия тех или иных факторов внешней или внутренней среды, т. е. $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, и для каждой из ситуаций S_i задается вероятность p_i ее возникновения, т. е. $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$.

Таким образом, по задаче известна следующая информация: множество альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$; множество целей решения $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$ с заданными приоритетами целей по их важности $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$ и множество гипотез $(S_1, S_2, \dots, S_n)$ с вероятностями их появления $(p_1, p_2, \dots, p_n)$. Для каждой альтернативы в разрезе возможных гипотез ее развития, по каждой цели разрешения проблемы необходимо оценить значение функции предпочтения по каждой альтернативе, $F = (f_{111}, f_{112}, \dots, f_{1nk}, f_{211}, \dots, f_{m11}, \dots, f_{mnk})$. Таким образом, каждая гипотеза определяется ее вероятностью, а критерии — приоритетами целей. Описание такой задачи характеризуется матрицей, представленной в табл. 8.3, где: f_{ijz} — функция предпочтения, индексы которой соответствуют следующим параметрам: i — индекс альтернативы, j — индекс гипотезы, z — индекс критерия; A_z — цели (критерии); b_z — приоритеты критериев; S_j — гипотеза развития ПС; p_j — вероятность появления ситуации S_j .

Обобщенная классификация разновидностей многокритериальных задач приведена на рис. 8.1.

Математическая интерпретация многокритериальной задачи состоит в том, что объекты отображаются точкой в критериальном пространстве целей $\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$.

Задачи, для которых значения критериальных значений целей (либо A , либо $k(A)$) изменяются дискретно, называются дискретными задачами принятия решений. Если значения критериев k_{ij} достижения цели A_j изменяются непрерывно, то такие задачи называются непрерывными. При этом можно описывать задачи как через целевые функции $\{A\}$, так и через значения критериев $\{k_1, k_2, \dots, k_m\}$, $k = f(A)$. Причем для каждой цели A_j можно выделить несколько критериев, характеризующих различные аспекты цели:

Таблица 8.3. Матрица описания задач типа JSA

Гипотезы		S_1			S_2			...	S_n		
Критерии (цели)		A_1	...	A_k	A_1	...	A_k	...	A_1	...	A_k
Альтернативы решения	Y_1	f_{111}	...	f_{11k}	f_{121}	...	f_{12k}	...	f_{1n1}	...	f_{1nk}
	Y_2	f_{211}	...	f_{21k}	f_{221}	...	f_{22k}	...	f_{2n1}	...	f_{2nk}
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Y_m	f_{m11}	...	f_{m1k}	f_{m21}	...	f_{m2k}	...	f_{mn1}	...	f_{mnk}
Приоритеты целей		b_1	...	b_k	b_1	...	b_k	...	b_1	...	b_k
Вероятности гипотез		p_1			p_2			...	p_n		

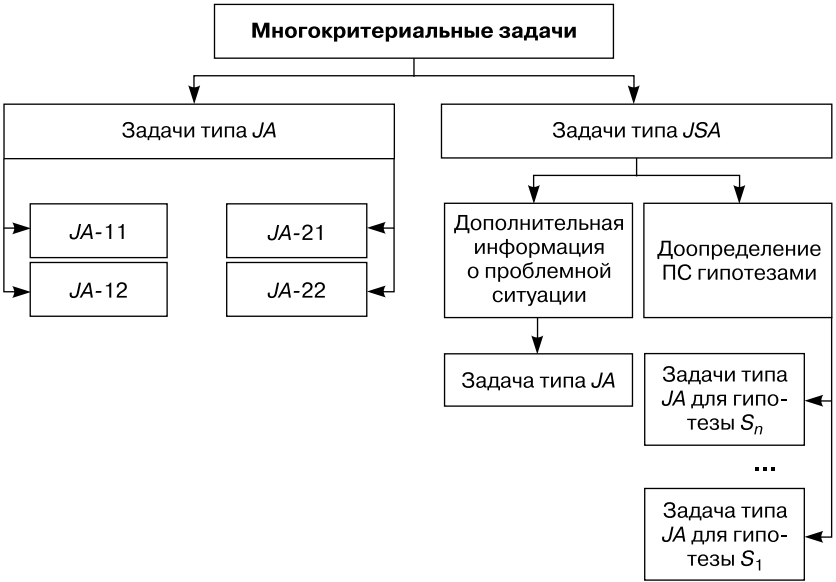


Рис. 8.1. Классификация видов многокритериальных задач

$$A_j \subseteq \{k_1, k_2, ..., k_{mj}\}.$$

Пример отображения дискретной задачи для трех объектов в двумерном пространстве критериев можно показать на следующем примере. Например, для задачи, приведенной в табл. 8.4, описывающей 3 альтернативы и 2 критерия, функции полезности представлены в виде нормированных значений.

Построим диаграмму, на которой альтернативы $\{Y_1, Y_2, Y_3\}$ отображены в пространстве двух критериев $\{k_1, k_2\}$.

Таблица 8.4. Матрица многокритериальной задачи

Альтернативы	Критерии	
	k_1	k_2
Y_1	0,29	1
Y_2	0,86	0,1
Y_3	1	0,2

Отображение альтернатив в пространстве критериев показано на рис. 8.2.

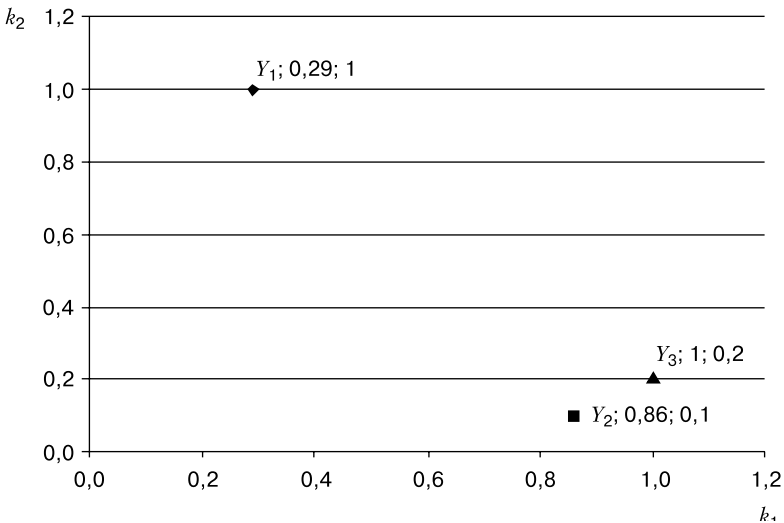


Рис. 8.2. Графическая интерпретация многокритериальной задачи (3 объекта, 2 критерия)

Если значения критериев изменяются непрерывно, то такая задача относится к задаче векторной оптимизации. При этом графически такая задача интерпретируется в виде некоторой области в пространстве критериев. В зависимости от решения, требуемого пользователю, многокритериальные задачи можно разделить на следующие классы:

- задачи выбора (выделение наиболее предпочтительного объекта по нескольким или одному критерию);
- задачи оценивания (оценка объекта по одному, нескольким или интегральному критерию);
- определение Парето-оптимальных решений.

Для решения задач, относящихся к различным классам, требуются соответствующие методы их решения. Рассмотрим некоторые из применяемых на практике методов решения многокритериальных задач.

8.2. Методы решения многокритериальных задач с неструктурированными критериями

Рассмотрим основные методы принятия решений для группы задач типа *JA*. В предыдущем разделе мы определили базовые методы принятия решения.

1. Для задач типа *JA11* применяют методы, основанные на оценке отдельных структурных ветвей (возможных вариантов), взвешенных по важности альтернатив.

2. Для задач **типа** *JA12* используются принципы решения, определяемые как *метод дерева целей*, или *метод анализа иерархий* (МАИ).

3. Для задач **типа** *JA21* мы сформулировали, какие модели и стратегии выбора можно применять, а именно: методы гарантированного результата, оптимизма, Гурвица, Сэвиджа. Данные методы были нами рассмотрены в п. 5.4, 5.5, поэтому здесь мы их не приводим.

4. Для решения задач типа *JA22* обычно используют специальные методы решения многокритериальных задач, основанные на определении многомерной метрики между сравниваемыми альтернативами. Данные методы базируются на расчете многокритериальной метрики, характеризующей альтернативы, и проведении процедуры сравнения на их основе. Другой разновидностью применяемых методов является проведение процесса сравнения на базе наиболее важного критерия или вычисление аналитической метрики.

В практике принятия управленческих решений наиболее часто встречаются задачи последних трех групп, для которых и рассмотрим методологию их решения более подробно. Подходы решения задач типа *JA21* были рассмотрены ранее, поэтому здесь остановимся на методах решения задач типа *JA22* и *JA12*. Сравнительный анализ важности и степени встречаемости указанных задач показывает, что более важной является группа задач *JA22*, и именно с нее мы и начнем рассмотрение проблематики выработки управленческих решений.

В соответствии с общими подходами решения многокритериальных задач, постановку и представление которых мы рассмотрели в разделе 1, и учитывая фактор структурированности критериев, рассмотрим базовые методы, используемые при выработке управленческих решений для задачи типа *JA22*.

В литературе для задач такого вида выделяют 3 основные группы методов:

- лексикографические методы;
- интерактивные методы;
- аксиоматические методы.

Методы решения, относящиеся к *первой группе* (лексикографические), базируются на предположении о доминировании критериев и возможности вы-

явления этих предпочтений. Задача решается в несколько циклов, на каждом из которых выполняются следующие этапы:

- определение множества допустимых альтернатив;
- ранжирование множества критериев по выделенным альтернативам;
- выбор наилучшего объекта, соответствующего самому важному критерию и удовлетворяющего множеству критериальных ограничений.

Ко *второй группе (интерактивные)* относятся в основном методы и алгоритмы выбора наиболее предпочтительного объекта (решения). Обычно это интерактивные процедуры, зависящие от специфики решаемой задачи и метрики расстояний, рассчитанной по множеству критериев, между допустимыми альтернативами.

Методы *третьей группы (аксиоматические)* используют положения, разработанные в теории полезности¹. Здесь необходимо определить и задать свойства неявной функции предпочтения, т. е. необходимо задать структуру предпочтения, которой оперирует ЛПР при выборе и оценке объекта. На основании выявленных свойств выбирается некоторая аналитическая функция (функция полезности), описывающая структуру предпочтений ЛПР. При этом ЛПР должно хорошо ориентироваться в содержании задачи. Данный метод наиболее трудоемок по сравнению с предыдущими, но позволяет получить более обоснованные оценки объектов.

Рассмотрим некоторые из указанных методов более подробно.

Лексикографический метод. При решении задач этим методом задано множество альтернатив решения ($Y_1, Y_2, \dots, Y_n$), известно пространство критериев выбора $K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$, элементы которого k_{ij} ранжируются по степени важности $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ таким образом, чтобы лучший индекс (ранг r_{ij}), обычно меньший, приписывался бы наиболее важному критерию. В нижеприведенной таблице дается ранжирование критериев по степени важности, где важность задается рангом критерия в общем списке.

Критерии	k_1	k_2	...	k_m
Ранг r	1	2		M

На основании данной таблицы, имея соответствующие коэффициенты важности, получаем следующие предпочтения критериев:

$$\{b_1 \succ b_2 \succ \dots \succ b_m\} \rightarrow (k_1 > k_2 > \dots > k_m).$$

Откуда наиболее важным критерием считаем k_1 .

Далее процедура выбора объектов осуществляется по этому наиболее важному критерию.

¹ Кини Р., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения; Теория выбора и принятия решений: Учеб. пособие / Под ред. И. М. Макарова; Фишберн П. Теория полезности для принятия решений.

При этом на остальные критерии $\{k_2, k_3, \dots, k_m\}$ накладываются известные из структуры задачи ограничения.

Если в процессе выбора какая-либо альтернатива не соответствует указанным критериальным ограничениям, она исключается из дальнейшего рассмотрения. Таким образом, для альтернатив формируется своеобразный фильтр из множества допустимых значений целевых критериев. А оставшееся множество альтернатив, удовлетворяющих критериальным ограничениям, характеризует комплекс допустимых объектов (альтернатив). Причем возможно, что в качестве альтернатив, не удовлетворяющих критериальным ограничениям и исключенным из рассмотрения, могут быть и варианты, кажущиеся на первый взгляд наиболее эффективными.

Рассмотрим следующий пример.

Пример 8.1. Проводится процедура выбора холодильного оборудования в торговый отдел. В качестве критериев оценки возможного варианта холодильника можно задать следующие: k_1 — общий объем, м³; k_2 — объем морозильной камеры, м³; k_3 — мощность, кВт; k_4 — цена, руб., и т. д.

В качестве альтернативных вариантов данного оборудования представлены 4 модели: (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4) . Считаем, что определена важность каждого критерия для выполнения процедуры выбора. Пусть важность соответствует порядку, который был представлен выше при изложении задачи, т. е. сформулированы следующие предпочтения целевых критериев $k_1 > k_2 > k_3 > k_4$. Ведущим критерием здесь является критерий k_1 , именно по данному критерию проводится выбор допустимых альтернатив. Сами же допустимые альтернативы формируются как множество, удовлетворяющее критериальным ограничениям по критериям k_2, k_3, k_4 , т. е. удовлетворяют заданным границам морозильной камеры, требованиям заданной мощности и находится в пределах необходимой ценовой границы. Из полученного множества в качестве эффективного выбирается наилучший по данному критерию вариант.

Если для полученного множества допустимых альтернатив по критерию k_1 не удастся однозначно осуществить выбор объекта Y_j , то далее производится выбор по следующему по важности критерию k_2 и т. д.

Условие доминирования содержательно обозначает следующее: если упорядочить объекты по критерию k_1 , то этот порядок не изменится при учете ранжирования альтернатив по критериям k_2, k_3 и т. д., т. е. k_1 настолько важен, что он доминирует по важности все остальные.

Методы выбора предпочтительного объекта (метод «смещенного идеала»). Одним из наиболее известных методов данной группы, при решении дискретных задач, является метод «смещенного идеала». Данный метод включает в себя большую группу моделей выбора, реализующих интерактивное решение многокритериальных задач. К общим признакам, объединяющим их в одну группу, можно отнести следующие:

- формирование «идеального объекта»;
- наличие процедуры отсеивания ненаилучшего объекта;

- реализация итеративной процедуры получения динамического множества допустимых альтернатив.

При формировании «идеального объекта» проводится построение некоторого варианта решения, которое может приниматься как наилучшее возможное решение. При этом вполне возможно, что образ такого гипотетического «идеального объекта» может не принадлежать реальному множеству объектов $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ или даже вообще не существовать в действительности.

Наличие данного объекта задает всего-навсего точку отсчета при сравнении реальных альтернатив с этим идеальным (гипотетическим) вариантом. При этом объекты из множества допустимых альтернатив $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ сравниваются с моделью сформированного «идеального объекта» по критерию расстояния от текущего варианта до идеального и на основании этого значения расстояния происходит процедура ранжирования альтернатив по степени близости к идеальному объекту или степени удаленности от наихудшего варианта и отсеивание тех вариантов, которые наиболее далеко отстоят от «идеального объекта». Это так называемые ненаилучшие альтернативы. При построении модели «идеального объекта» важно использовать знания и опыт специалиста-пользователя (ЛПР), так как он лучше понимает свойства и параметры, взятые из лучших реальных объектов и составляющие содержание «идеального объекта».

Процедура отсеивания ненаилучших альтернатив характеризуется исключением из исходного множества объектов $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ подмножества альтернатив, являющихся наименее приоритетными в ранжировке вариантов по критерию близости к идеальному объекту. Удаляемое подмножество не содержит предпочтительных альтернатив и состоит из ненаилучших вариантов.

В общем виде процедура выбора наиболее предпочтительного объекта состоит из следующих этапов:

1. Формирование «идеального объекта» (ИДО).
2. Определение для каждого объекта многокритериальной метрики (расстояния) до «идеального объекта».
3. Анализ множества объектов на соответствие (степень близости) «идеальному объекту».
4. Интерактивное исключение тех объектов из исходного множества $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$, которые признаны при анализе заведомо ненаилучшими, и получение сокращенного множества допустимых вариантов.
5. Оценка сокращенного множества допустимых вариантов на оптимальность решения (нахождение лучшего решения). Если решение выбрано, то процедура выбора заканчивается, если нет, то переход к п. 6.
6. Переход к п. 1 и повторение этапов 1–5 для нового цикла по сокращенному множеству допустимых вариантов.

Процесс интерактивного выбора продолжается до тех пор, пока множество допустимых альтернатив не будет состоять из одного объекта, который будет рассматриваться как наилучшее (оптимальное, рациональное) решение.

Рассмотрим пример решения задачи принятия решений *методом смещенного идеала*.

Пример 8.2.

1. Описание проблемной ситуации S_0 .

1.1. Описание проблемы.

Осуществить закупку наиболее эффективного варианта принтера, удовлетворяющего потребительским качествам. Определим параметры решения задачи.

1.1.1. Время для ПР: $T = 2$ дня.

1.1.2. Ресурсы для ПР: информация о технико-экономических характеристиках принтеров, технология изготовления и эксплуатации, анализ рынка данного оборудования.

1.1.3. Критерии потребительского выбора $\{K\}$: k_1 — скорость печатающего механизма в монохромном режиме, страниц в минуту; k_2 — удельное соотношение максимально возможного объема ОЗУ к установленному в данной модели; k_3 — цена принтера, руб.

1.1.4. Известно множество ограничений (B) на технологические процессы, потребительские предпочтения по цене и надежности, финансовые ресурсы и развитие сервисных служб.

1.1.5. Известны верхние и нижние пределы изменения критериальных параметров выбираемого оборудования.

1.2. Сформулировано множество возможных альтернативных вариантов (предлагаемые производителями марки принтеров различных типов). Отобрана на предварительном этапе группа принтеров, состоящая из 7 объектов:

$$Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7\}.$$

На основании исходных данных строим матрицу вариантов (табл. 8.5).

Таблица 8.5. Матрица описания задачи

Принтеры	Критерии		
	k_1	k_2	k_3
Y_1	12	12	4854
Y_2	8	3	3442
Y_3	7	4	2776
Y_4	9	2	4270
Y_5	11	8	4450
Y_6	14	6	5830
Y_7	10	8	4667

На основании данных, приведенных в табл. 8.5, сформируем «идеальный объект». Одним из способов формирования «идеального объекта» является его построение по значениям приведенных целевых критериев. Сформируем

«идеальный объект» по указанным критериям со значениями, равными максимальным значениям показателей, полезность по которым возрастает, и минимальным, полезность по которым убывает.

Для каждого критерия выбирают наилучшее значение по допустимому множеству альтернатив. То есть параметры «идеального объекта» характеризуются наилучшими по полезности значениями исследуемых альтернатив. Значения ИдО будут равны максимальным значениям показателей, полезность по которым возрастает, и минимальным — полезность по которым убывает. Таким образом, получаем идеальный объект, который обозначим как Y^+ и который описывается вектором критериальных значений, составленным следующим образом:

$$Y^+ = \{K_1^+, K_2^+, K_3^+\}.$$

Полученный вектор параметров задает начало координат (точку отсчета) при вычислении расстояния от идеального объекта до текущего, с которым производится сравнение.

Или, переходя к конкретным значениям критериев, получим:

$$Y^+ = \{14; 2; 2776\},$$

- минимальная стоимость;
- минимальное соотношение установленного ОЗУ;
- максимальная скорость печати.

Иногда кроме «идеального объекта» формируют также модель «наихудшего (ненаилучшего) объекта», которая задает другую точку отсчета — наихудший вариант, реально возможный, но неприемлемый по своим параметрам.

Переходя к конкретным значениям критериев, получим модель «ненаилучшего объекта»:

$$Y^- = \{7; 12; 5830\},$$

- максимальная стоимость;
- максимальное соотношение установленного ОЗУ;
- минимальная скорость печати.

Для сопоставления разнородных значений критериальных параметров разных альтернатив необходимо перейти к нормированным значениям критериев. Для нормировки можно использовать метод построения удельных значений в соответствии со следующей формулой преобразования:

$$a_j = (K^+ - K_j) / (K^+ - K^-), \quad (8.1)$$

где a_j — нормированное значение критериального параметра j -го варианта; K^+ — значение соответствующего параметра «идеального объекта»; K^- — значение соответствующего параметра «наихудшего объекта»; K_j — текущее значение критериального параметра сравниваемого (j -го) варианта.

На основании нормированного преобразования проводим расчет матрицы альтернатив в относительных единицах. Получим следующую матрицу (табл. 8.6).

Таблица 8.6. Нормализованная матрица описания задачи

Принтеры	Критерии		
	k_1	k_2	k_3
Y_1	0,29	1	0,68
Y_2	0,86	0,1	0,22
Y_3	1	0,2	0
Y_4	0,71	0	0,49
Y_5	0,43	0,6	0,55
Y_6	0	0,4	1
Y_7	0,57	0,6	0,62
Y^+	14	2	2776
Y^-	7	12	5830

Значения соответствующего критерия в относительных единицах a_j можно интерпретировать как расстояние j -го объекта по критерию K_i до идеального объекта. Достижение идеального параметра определяется наличием расстояния, равного 0 ($a_j = 0$), а наихудшее значение соответствует расстоянию, равному 1 ($a_j = 1$).

Иногда при решении задачи необходимо учесть различную степень важности критерия для реализации процедуры выбора, для чего следует сформулировать показатели важности. Расчет степени важности критериев можно провести на базе использования метода парных сравнений для сформулированного множества критериев.

Если критерии безразличны по приоритету, то им присваивают одинаковую степень важности или же не используют в процессе выбора показатель важности критерия выбора.

Если же критерии имеют некоторый приоритет, т. е. обладают различной степенью важности, то необходимо задать их относительную важность в процессе подготовки задачи к решению.

Будем считать, что наши критерии выбора имеют приоритеты в виде вектора весовых коэффициентов (веса) критериев — $(W_1, W_2, \dots, W_k)$. Пусть в нашем случае для комплекса критериев $\{k_1, k_2, k_3\}$ веса (W_1, W_2, W_3) имеют следующие значения:

$$\{W_1 = 6, W_2 = 2, W_3 = 4\}. \quad (8.2)$$

Весовые коэффициенты можно задавать как в нормированном виде, где их сумма равна 1, так и произвольно, и при этом сумма весов не обязательно должна быть равна 1.

Задание такого вектора весовых коэффициентов (8.2) используемых критериев показывает, что по степени предпочтения наиболее важным критерием является максимальная скорость печати k_1 , затем — цена k_3 и последним по

важности — удельное соотношение установленного и максимально возможного ОЗУ k_j .

Для выявления и отсеивания ненаилучших альтернатив обычно используется метрика в виде некоторой свертки, характеризующей расстояние от текущего исследуемого варианта до «идеального объекта». Обобщенную форму представления такой свертки можно представить в виде следующей обобщенной метрики L :

$$L^p = \left\{ \sum_{j=1}^n [W_j(1-a_j)]^p \right\}^{1/p}, \quad (8.3)$$

где p — степень концентрации, позволяющая переходить к различным типам метрики. Здесь для перехода к привычному образу формирования приоритета (чем больше значение, тем лучше) используется не само нормированное значение, а разность между ненаилучшим объектом, который имеет значение 1 по соответствующему критерию, и самим нормированным значением a_j .

В этом случае чем больше значение метрики L , тем дальше объект удален от наилучшего и тем ближе он к идеальному.

Данная метрика (8.3) является универсальной и включает в себя различные типы функций, измеряющих расстояние между объектами в пространстве. Так, например, если $p = 1$, то имеем хэммингово расстояние. При $p = 2$ получаем функцию L в виде евклидова расстояния и т. д.

Таким образом, присваивая p разные значения, получаем различные метрики оценки расстояния для исключения случайного удаления ненаилучшего варианта. По полученным значениям расстояния проводится ранжирование альтернатив, где в качестве принципа предпочтения используется величина вычисленного расстояния.

Вычислим для наших объектов метрики с разной степенью концентрации, соответствующие различным видам функции расстояния, и значения запишем в таблицу (табл. 8.7).

Таблица 8.7. Матрица расстояний по альтернативам

Значения меры расстояния	Степень концентрации метрики p					
	$p = 1$	$p = 2$	$p = 3$	$p = 5$	$p = 6$	$p = 8$
$L(Y_1)$	5,56	4,47	4,32	4,29	4,29	4,29
$L(Y_2)$	5,78	3,71	3,33	3,17	3,15	3,13
$L(Y_3)$	5,60	4,31	4,08	4,01	4,00	4,00
$L(Y_4)$	5,76	3,33	2,78	2,42	2,34	2,24
$L(Y_5)$	6,04	3,96	3,60	3,46	3,44	3,43
$L(Y_6)$	7,20	6,12	6,02	6,00	6,00	6,00
$L(Y_7)$	4,89	3,09	2,76	2,61	2,59	2,58

Чем больше значение метрики L , тем ближе объект Y_i к идеальному Y^+ .

На основании вычисленных расстояний при различных видах метрики проведем ранжирование альтернатив по значению L .

Получим следующие ранжировки предпочтений по метрике L .

Для $p = 1$ $Y_6 > Y_5 > Y_2 > Y_4 > Y_3 > Y_1 > Y_7$.

Для $p = 2$ $Y_6 > Y_1 > Y_3 > Y_5 > Y_2 > Y_4 > Y_7$.

Для $p = 3$ $Y_6 > Y_1 > Y_3 > Y_5 > Y_2 > Y_4 > Y_7$.

Для $p = 5$ $Y_6 > Y_1 > Y_3 > Y_5 > Y_2 > Y_7 > Y_4$.

Для $p = 6$ $Y_6 > Y_1 > Y_3 > Y_5 > Y_2 > Y_7 > Y_4$.

Для $p = 8$ $Y_6 > Y_1 > Y_3 > Y_5 > Y_2 > Y_7 > Y_4$.

Исследуя приведенные цепочки предпочтения альтернатив, можно выделить некоторые альтернативы, которые являются ненаилучшими среди них. Ненаилучшие решения — это те, которые всегда (по всем видам метрик) доминируются.

Ненаилучшие решения в нашем случае A_4 и A_7 , которые имеют низкий ранг, поэтому их можно исключить из дальнейшего рассмотрения. Процедура повторяется до тех пор, пока не выявится один доминирующий объект или не станут ясны предпочтения ЛПР.

Далее в нашем случае получаем сокращенное исходное множество альтернатив $\{A_1, A_2, A_3, A_5, A_6\}$ для которого также построим идеальный $Y^+ = \{14; 3; 2776\}$ и наихудший $Y^- = \{7; 12; 5830\}$ варианты (табл. 8.8).

Таблица 8.8. Матрица описания задачи по сокращенному множеству альтернатив

Принтеры	Критерии		
	k_1	k_2	k_3
Y_1	12	12	4854
Y_2	8	3	3442
Y_3	7	4	2776
Y_5	11	8	4450
Y_6	14	6	5830
Y^+	14	3	2776
Y^-	7	12	5830

Для сопоставления значений критериев необходимо перейти к нормированным значениям критериальных показателей, преобразуя их по формуле (8.1):

$$a_j = (K^+ - K_j) / (K^+ - K^-).$$

Переходя к относительным значениям критериев, получим новую нормализованную матрицу (табл. 8.9).

Также используем относительную важность критериев, заданную в виде вектора весовых коэффициентов $\{W_1 = 6, W_2 = 2, W_3 = 4\}$.

Для выявления ненаилучших объектов опять воспользуемся функцией расстояния (8.3).

Вычислим для наших объектов разнородные метрики, соответствующие различным стратегиям выбора, и значения запишем в табл. 8.10.

Таблица 8.9. Нормализованная матрица описания задачи по сокращенному множеству альтернатив (шаг 2)

Принтеры	Критерии		
	k_1	k_2	k_3
Y_1	0,29	1	0,68
Y_2	0,86	0	0,22
Y_3	1	0,11	0
Y_5	0,43	0,56	0,55
Y_6	0	0,33	1

Таблица 8.10. Метрика расстояний по альтернативам

Значения меры расстояния	Степень концентрации метрики p					
	$p = 1$	$p = 2$	$p = 3$	$p = 5$	$p = 6$	$p = 8$
$L(Y_1)$	5,56	4,47	4,32	4,29	4,29	4,29
$L(Y_2)$	5,98	3,81	3,40	3,19	3,16	3,14
$L(Y_3)$	5,78	4,38	4,11	4,01	4,01	4,00
$L(Y_5)$	6,12	3,98	3,61	3,46	3,44	3,43
$L(Y_6)$	7,33	6,15	6,02	6,00	6,00	6,00

Чем больше значение L , тем ближе объект Y_i к идеальному Y^+ . Получим следующие ранжировки предпочтений по L :

Для $p = 1$ $Y_6 > Y_5 > Y_2 > Y_3 > Y_1$.

Для $p = 2$ $Y_6 > Y_1 > Y_3 > Y_5 > Y_2$.

Для $p = 3$ $Y_6 > Y_1 > Y_3 > Y_5 > Y_2$.

Для $p = 5$ $Y_6 > Y_1 > Y_3 > Y_5 > Y_2$.

Для $p = 6$ $Y_6 > Y_1 > Y_3 > Y_5 > Y_2$.

Для $p = 8$ $Y_6 > Y_1 > Y_3 > Y_5 > Y_2$.

Ненаилучшие решения в нашем случае Y_2 и Y_5 . Исключим их из рассмотрения, получим сокращенное исходное множество альтернатив $\{A_1, A_3, A_6\}$.

Для данного множества строим идеальный $Y^+ = \{14; 4; 2776\}$ и наихудший $Y^- = \{7; 12; 5830\}$ (табл. 8.11).

Таблица 8.11. Матрица описания задачи по сокращенному множеству альтернатив (шаг 3)

Принтеры	Критерии		
	k_1	k_2	k_3
Y_1	12	12	4854
Y_3	7	4	2776
Y_6	14	6	5830

На следующем шаге также необходимо перейти к нормированным значениям критериев, преобразовав их по формуле

$$a_j = (K^+ - K_j) / (K^+ - K^-).$$

Переходя к относительным значениям критериев, получим новую нормализованную матрицу (табл. 8.12).

Таблица 8.12. Нормализованная матрица описания задачи по сокращенному множеству альтернатив

Принтеры	Критерии		
	k_1	k_2	k_3
Y_1	0,29	1	0,68
Y_3	1	0	0
Y_6	0	0,25	1

Используя существующий вектор весовых коэффициентов важности критериев (8.2), зададим их относительную важность для данного шага вычислений.

Для выявления ненаилучших объектов найдем значения метрики расстояния каждого из оставшихся объектов до идеального объекта, используя функцию расстояния (8.3).

Вычислим для оставшихся альтернатив разнородные метрики, соответствующие различным стратегиям выбора, и значения запишем в табл. 8.13.

Таблица 8.13. Метрика расстояний по сокращенному количеству альтернатив

Значения меры расстояния	Степень концентрации метрики p					
	$p = 1$	$p = 2$	$p = 3$	$p = 5$	$p = 6$	$p = 8$
$L(A_1)$	5,56	4,4723	4,32	4,29	4,29	4,29
$L(A_3)$	6,00	4,4721	4,16	4,02	4,01	4,00
$L(A_6)$	7,50	6,18	6,03	6,00	6,00	6,00

Получим следующие ранжировки предпочтений альтернатив по расстоянию L :

Для $p = 1$ $Y_6 > Y_3 > Y_1$.

Для $p = 2$ $Y_6 > Y_1 > Y_3$.

Для $p = 3$ $Y_6 > Y_1 > Y_3$.

Для $p = 5$ $Y_6 > Y_1 > Y_3$.

Для $p = 6$ $Y_6 > Y_1 > Y_3$.

Для $p = 8$ $Y_6 > Y_1 > Y_3$.

Ненаилучшие решения на этом шаге вычислений Y_1 и Y_3 .

Таким образом, в результате итеративного отсеивания альтернатив по метрике удаления от наихудшего варианта остался один доминирующий объект Y_6 , т. е. это и есть рациональное решение в данной проблемной ситуации при

существующих ограничениях на процесс решения и сформулированных альтернативах.

Используя средства электронных таблиц, можно провести решение в виде комплекса простых средств поддержки решения, которые рассмотрим в разделе 6.

8.3. Методы аналитического построения метрики расстояния

Аксиоматические методы. Методы решения многокритериальных задач данного класса базируются на методах аналитического формирования свертки критериев для получения интегрального критерия, отражающего в концентрированном виде большинство требований и условий процесса принятия решения.

Для формирования критерия интегрального типа могут быть использованы различные методы и процедуры их построения: аддитивный, мультипликативный, квазиаддитивный, обобщенного расстояния, нечеткой метрики и др.

Рассмотрим общую постановку задачи построения модели интегрального критерия.

1. Пусть сформулировано некоторое множество альтернатив $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$, причем каждая альтернатива Y_j определяется некоторым информационным описанием проблемной ситуации $(Q_{j1}, Q_{j2}, \dots, Q_{jm})$ в виде определенной совокупности свойств:

$$Y_j = (Q_{j1}, Q_{j2}, \dots, Q_{jm}).$$

2. Определена совокупность целевых критериев выбора:

$$K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\},$$

количественно отражающих множество свойств альтернатив, т. е.

$$K(Y_j) = [k_1(Y_j), k_2(Y_j), \dots, k_m(Y_j)].$$

3. Необходимо принять решение о выборе одной из множества альтернатив.

4. Ищется отображение f , которое каждому вектору K_j ставит в соответствие некоторое число, соответствующее критериальному значению:

$$E = f(k) = f(k_1, k_2, \dots, k_m).$$

Оператор f есть интегральный критерий, который каждому решению (Y_j) присваивает число E_j . Тогда упорядочивание альтернатив сводится к ранжированию чисел (оценок) E_j .

В зависимости от метода (*аддитивный, мультипликативный, квазиаддитивный*) и условий существования локальных критериев для построения свертки будут сформулированы и сами функции интегрального критерия в виде различных функционалов (подробнее см. п. 5.2).

1. *Аддитивный метод формирования свертки критериев* предполагает построение интегрального критерия в виде простой или взвешенной суммы локальных критериев, если они удовлетворяют некоторым условиям аддитивности (независимы друг от друга):

$$E = f[(k_1, \beta_1), (k_2, \beta_2), \dots, (k_m, \beta_m)] = \sum_{j=1}^m \beta_j \quad (8.4)$$

Здесь интегральный критерий представляется в виде взвешенной по важности суммы локальных критериев, где β_j — коэффициент важности критерия.

2. *Мультипликативный метод формирования свертки критериев.* Данный метод предполагает построение интегрального критерия в виде простого или взвешенного произведения локальных критериев, если они удовлетворяет условиям мультипликативности:

$$E = f(k_1, k_2, \dots, k_m) = \prod_{i=1}^m k_i^{\beta_i}. \quad (8.5)$$

Если для каждого критерия можно задать весовой коэффициент, характеризующий его важность β , то интегральный критерий строится в виде взвешенной по важности мультипликативной свертки;

$$E = f[(k_1, \beta_1), (k_2, \beta_2), \dots, (k_m, \beta_m)] = \prod_{i=1}^m \beta_i. \quad (8.6)$$

К недостаткам данного метода можно отнести существование неоднозначных компенсаций для одинаковых значений локальных критериев.

3. *Квазиаддитивный метод свертки критериев.* В основе данного метода лежит понятие многомерной функции полезности $u(k_1, k_2, \dots, k_m)$, построенной на критериях $(k_1, k_2, \dots, k_m)$, для получения которой предъявляются некоторые специфические требования:

1) для каждого из локальных критериев k_i должна быть задана шкала измерения интенсивности критерия, т. е. определены максимальный и минимальный уровни критериального значения:

$$k_{\min} \leq k_i \leq k_{\max}; \quad k_{\min} = k^-; \quad k_{\max} = k^+;$$

2) функция полезности $u = f(k_1, k_2, \dots, k_m)$ нормирована и изменяется в диапазоне значений $[0; 1]$, причем наилучшее значение функции соответствует значению 1:

$$u = f(k_1^+, k_2^+, \dots, k_m^+) = 1;$$

а наихудшее — значению 0:

$$u = f(k_1^-, k_2^-, \dots, k_m^-) = 0;$$

3) имеется дополнение критерия Δk_i в виде

$$(k_1, \dots, k_{i-1}, k_{i+1}, \dots, k_m).$$

Тогда функцию полезности $u = f(k_1, k_2, \dots, k_m)$ можно представить в виде $u(\Delta k_i, k_i)$. Фиксируя значения Δk_i , получаем значение полезности $u(\Delta k_i, k_i)$ как функ-

цию одной переменной, что говорит о сведении данной многокритериальной задачи к однокритериальной, которую может переформулировать ЛПР.

Для того чтобы интегральный критерий $E = u(\Delta k_p, k_i)$ адекватно отражал характеристики объекта, необходимо, чтобы функционал E удовлетворял некоторым аксиомам, задающим метрику такого типа. Таким образом, для определения структуры метрики, аргументами которой являются локальные цели-критерии (их шкальные значения), наиболее полезным и обоснованным (единственным по Е. А. Елтаренко¹) является использование аксиоматического подхода, заключающегося в анализе свойств метрики E и ее построении на основании выявленных свойств конкретной структуры свойств данной меры.

Для задания свойств метрики E необходимо, чтобы она удовлетворяла аксиомам транзитивности, антирефлексивности, монотонности и непрерывности. Если критериальный функционал удовлетворяет вышеприведенным условиям и ограничениям на независимость локальных функций k_i по полезности и рациональности локальных критериев (максимизация полезности), то структура свертки ищется в виде метрики, удовлетворяющей условиям квази-аддитивной (квазисепарабельной) свертки².

В частности, для $n = 3$ интегральный критерий имеет следующий вид³:

$$E = \sum_{j=1}^n k_j + \sum_{j=1}^{n+1} c_j \cdot \prod_{j=1}^n k_j^{a_j}, \quad (8.7)$$

где $a = \begin{cases} 0, & \text{если } i = j; \\ 1, & \text{если иначе} \end{cases}$

характеризует включение i -й составляющей функции свертки в интегральный критерий E ; c_j — весовой коэффициент

4. *Методы формирования метрики обобщенного критериального расстояния.* Данные методы ориентированы на формировании критерия, определяемого специальными видами обобщенной метрики для определения расстояния от сравниваемого объекта до интегрального критерия.

Такая метрика характеризует многомерное расстояние в пространстве критериев между анализируемыми объектами и используется в виде функции обобщенного критерия.

При решении задач выбора обычно рассматривают различные виды расстояния между исследуемыми объектами, в качестве которых возможно применение следующих методик вычисления обобщенного расстояния:

- метрика абсолютных отклонений;

¹ Елтаренко Е. А. Методы оценки и выбора инженерных и управленческих решений.

² Кини Р., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения.

³ Афоничкин А. И., Матвеев А. А., Макашкин Н. П., Сажин Ю. В. Системы поддержки в теории и практике оценки управленческих решений.

- метрика относительного отклонения;
- метрика наибольших абсолютных отклонений от идеального объекта;
- метрика наибольших относительных отклонений от идеального объекта.

4.1. *Метрика абсолютных отклонений* базируется на функции расстояния следующего вида:

$$E = f(k_1, k_2, \dots, k_m) = \sum_{j=1}^m (q_j^o - q_j) + \sum_{j=s=1}^m (q_j - q_j^o), \quad (8.8)$$

где первое слагаемое представляет собой критерий для получения максимальных значений, второе — для минимальных.

4.2. *Метрика относительного отклонения* задается отношением нормированных значений максимальных и минимальных значений.

$$E = f(k_1, k_2, \dots, k_m) = \sum_{j=1}^m [(q_j^o - q_j) / (q_j^o - q_j^{\min})] + \sum_{j=1}^m [(q_j - q_j^o) / (q_j^{\max} - q_j^o)]. \quad (8.9)$$

4.3. *Метрика наибольших абсолютных отклонений:*

$$E = \max [q^o - q_j]. \quad (8.10)$$

4.4. *Метрика наибольших относительных отклонений:*

$$E = \max \left[[(q_j^o - q_j) / (q_j^o - q_j^{\min})] - [(q_j - q_j^o) / (q_j^{\max} - q_j^o)] \right]. \quad (8.11)$$

5. *Формирование нечеткой метрики расстояния для задач с неопределенной информацией.*

При решении многокритериальной задачи с неопределенной информацией (типа JAS, GAS), требующей доопределения проблемы гипотезами развития ситуации, в частности проблемной ситуации с нечеткими параметрами или альтернатив с нечетко выраженными критериями и/или нечетко выраженной структурой предпочтений, возможно использование метода формирования нечеткой свертки критериев.

Для этого устанавливается область определения функции:

$$E = f(k) = f(k_1, k_2, \dots, k_m)$$

и обосновываются возможные методы ее свертки при существующих ограничениях на:

- а) независимость локальных функций $f(k_j)$ по полезности;
- б) рациональность локальных критериев (максимизация полезности);
- в) нечеткость оценок критериального пространства.

Решение ищется в виде аналитической функции свертки множества локальных критериев, удовлетворяющих условиям квазисепарабельной свертки при нечетких информационной модели проблемной ситуации и моделей альтернатив.

Для исследования свойств метрики сформулирована система аксиом, удовлетворяющих существованию нечеткой функции полезности (качества решения, которая используется для формирования интегральной свертки).¹

В частном случае для $m = 3$ при наличии локальных функций оценки критерия $Q(i)$ и сформулированной для каждой критериальной функции нечеткой функции принадлежности параметра $\mu(Q(i))$ множеству критериальных значений функция имеет вид

$$E = \sum_{j=1}^n \mu_j(Q_j(i)) \times Q_j(i) + \sum_{j=1}^{n+1} c_j \cdot \prod_{j=1}^n \mu_j(Q_j(i)) \times Q_j(i), \quad (8.12)$$

где $\mu(Q(i))$ — коэффициент, характеризующий степень «размытости», нечеткости параметров формулируемой модели проблемной ситуации и альтернатив решения; $Q(i)$ — локальные функции, измеряющие интенсивность параметров, на базе которых и формируется оценка интегрального критерия.

Рассмотрим некоторые методы решения задач.

Пример 8.3. Решение задачи *лексикографическим методом*.

1. Описание проблемной ситуации S_0 .

1.1. Описание проблемы.

Определить наиболее перспективный станок с ЧПУ для запуска в серию.

1.2. Время для ПР: $T = 3$ недели.

1.3. Ресурсы для ПР: информация о технико-экономических характеристиках станков.

1.4. Критерии (K): K_1 — среднее время выполнения операции, с; K_2 — надежность наработки на отказ, тыс. ч; K_3 — стоимость станка, тыс. руб.

1.5. Множество ограничений (B).

Известны верхние и нижние предельные границы изменения критериальных параметров выбираемых станков.

2. Множество альтернативных вариантов, для каждого из которых задан весовой показатель важности критериев:

$$\beta_1 = \beta(k_1) = 0,6;$$

$$\beta_2 = \beta(k_2) = 0,4;$$

$$\beta_3 = \beta(k_3) = 0,2.$$

На предварительном этапе отобрана группа оборудования, состоящая из 6 станков

$$Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6\}.$$

На основании исходных данных строим матрицу вариантов (табл. 8.14).

Решение начинается с проведения последовательного ранжирования сформулированных альтернатив по критериям в соответствии с весовым коэффициентом важности, начиная с самого важного (имеющего наибольший вес).

¹Афоничкин А. И., Матвеев А. А. Макаркин Н. П., Сажин Ю. В. Системы поддержки в теории и практике оценки управленческих решений.

Таблица 8.14. Матрица постановки задачи

Принтеры	Критерии		
	k_1	k_2	k_3
Y_1	5	1	50
Y_2	10	1,5	40
Y_3	2	1,5	90
Y_4	1	1	100
Y_5	6	3	100
Y_6	16	3,5	50
Коэффициент важности критерия, β	0,6	0,4	0,2

Ранжируя объекты по наиболее важному критерию k_1 , для которого $\beta_1 = \beta(k_1) = 0,6$, получаем исходя из правила выбора, что предпочтительнее те альтернативы, которые имеют минимальное время выполнения операций:

$$Y_4 > Y_3 > Y_1 > Y_5 > Y_2 > Y_6.$$

Два последних варианта Y_2, Y_6 характеризуют ненаилучшие решения с точки зрения данного критерия (время операций), и поэтому ими можно пренебречь. Тем самым набор альтернатив сужается до $\{Y_4, Y_3, Y_1, Y_5\}$.

Полученный набор ранжируется по критерию k_2 , для которого $\beta_2 = \beta(k_2) = 0,4$, т. е. имеющему вторую по значению степень важности критерия. Проводим ранжировку для оставшихся после первого отсеивания альтернатив и получаем следующую последовательность предпочтений:

$$Y_5 > Y_3 > Y_1 > Y_4.$$

Убираем из рассмотрения ненаилучшие с точки зрения данного критерия (надежность) альтернативы: Y_1, Y_4 , сужая тем самым набор альтернатив до $\{Y_3, Y_5\}$.

Ранжируя полученное допустимое множество по критерию k_3 (стоимости), получим следующее предпочтение: $Y_3 > Y_5$.

Таким образом, в качестве рационального (эффективного для существующих требований и условий) решения следует выбрать альтернативу Y_3 , т. е. $Y^* = Y_3$.

Глава 9. КОМПЬЮТЕРНОЕ РЕШЕНИЕ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЗАДАЧ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА

В качестве объекта принятия управленческих решений рассмотрим задачу оценки и выбора инвестиционного проекта для формирования стратегии развития некоторой фирмы, которая может быть решена несколькими способами.

В отечественной практике методы финансово-экономической оценки инвестиций, основанные на дисконтировании, получили широкое распространение при разработке бизнес-планов под инвестиционные проекты.

Проведенный сравнительный анализ методов оценки инвестиций показал, что в некоторых ситуациях разные методы приводят к одинаковым результатам. Материалы данного исследования позволят хозяйствующим субъектам более объективно выбирать критерии оценки экономической эффективности инвестиций, что, в свою очередь, будет способствовать минимизации инвестиционного риска и принятию экономически обоснованного решения по вложению инвестиций в «точки роста».

Для обоснованного выбора оптимального инвестиционного проекта из некоторого множества вариантов, связанных с организацией нового производства, необходимо использовать методы, позволяющие снизить степень риска и минимизировать экономические издержки.

Формализация условий задачи по принятию решений обоснования и выбора оценки инвестиций в условиях неопределенности. Прежде всего следует отметить, что данная задача относится к методам принятия управленческих решений в неопределенных условиях и, в частности, к задачам принятия решений в условиях неопределенности и риска. Под неопределенностью следует понимать возможные колебания финансов (инфляция, снижение ставок и т. п.) при реализации инвестиционного проекта, а под риском — изменения денежного потока по годам реализации проекта.

В целом формализованная задача может быть представлена в виде множества допустимых вариантов проекта, из которых необходимо выбрать наилучший, основываясь на определенном критерии.

Для выбора проекта в условиях неопределенности и риска формируются множество допустимых стратегий и множество возможных состояний условий (множество значений неопределенного фактора).

Используя принципы оптимизма или гарантированного результата, можно учесть возможность получения максимального уровня полезности U проекта в виде:

$$U(y^*) = \max_i \max_j U_{ij} \text{ — принцип оптимизма;}$$

$$U(y^*) = \max_i \min_j U_{ij} \text{ — принцип гарантированного результата,}$$

т. е. осуществлять стратегию выбора по значению критерия с учетом его возможного направления изменения. При этом оптимальной будет та стратегия, которая имеет максимальное значение критерия. Для принятия объективного (наилучшего) решения по инвестиционным проектам необходимо оценить эффект инвестиций, график платежей и их эффективность.

Алгоритм принятия решений по инвестиционным проектам обычно включает следующие шаги:

- формирование портфеля инвестиционных проектов;
- определение системных ограничений по основным реализационным параметрам (объемы финансирования, сроки, предельная доходность, социальная направленность и др.);
- обоснование и выбор оценочных показателей инвестиционных проектов;
- выбор методики определения эффективности проектов;
- анализ и оценка эффективности каждого проекта;
- выбор оптимального проекта из нескольких альтернативных на основе оптимальных значений выбранного критерия.

С учетом существующих ограничений и наличия множества параметров эффективности проектов задачу оценки и выбора инвестиционного проекта можно отнести к типовой задаче многокритериального выбора в условиях неполной определенности (в силу предположительного характера проектов обычно не учитывается изменение внешней среды окружения и изменения стратегических ориентиров инвесторов и финансовой среды) при индивидуальном или групповом выборе.

Рассмотрим решение простых многокритериальных задач (индивидуальный выбор в условиях полной определенности) принятия решений по инвестиционным проектам.

9.1. Обоснование метода выбора инвестиционного решения

Принятие решений в сфере инвестиционной деятельности предприятия осуществляется, как мы уже указывали, в условиях риска. Для этих целей разработан ряд методов принятия решений, основанных на использовании опреде-

ленных подходов и критериев¹. Целесообразно рассмотреть спектр методов, позволяющих обосновывать решения по оценке и выбору инвестиционных проектов и тем самым снижать риск по их реализации. Однако при формализации условий решения задач по оптимизации инвестиций на основании методов принятия решений не следует отходить от первоначальных задач инвестиций. Надо особо отметить, что необходимость инвестиций обусловлена, как говорилось ранее, тремя основными целями:

- повышением объемов производства;
- необходимостью проведения реконструкции и технического перевооружения;
- освоением новых видов производства.

Степень риска по инвестиционным проектам различна, поскольку принятие решений базируется на различной достоверности факторов, характеризующих факторы развития рынка. Различны и последствия от принятия решений, так как это связано с различными объемами инвестиций, возрастанием доли риска, реализуемости инвестиционного проекта.

К базовым принципам и методическим подходам компьютерного решения в отечественной практике можно отнести следующие²:

1. *Оценка возврата инвестируемого капитала* на основе показателя денежного потока, формируемого за счет сумм чистой прибыли и амортизационных отчислений в процессе эксплуатации инвестиционного проекта.
2. *Обязательное приведение к настоящей стоимости* как инвестируемого капитала, так и сумм денежного потока. Поскольку в реальной практике процесс инвестирования не одномоментен, то, за исключением первого этапа, все последующие инвестируемые суммы должны приводиться к настоящей стоимости.
3. *Выбор дифференцированной ставки процента* (дисконтной ставки) в процессе дисконтирования денежного потока для различных инвестиционных проектов. При сравнении различных проектов с различными уровнями риска должны применяться различные ставки процента при дисконтировании.
4. *Вариация форм используемой ставки процента для дисконтирования* в зависимости от целей оценки.

В процессе инвестиционной деятельности предприятие формирует и реализует инвестиционную деятельность через систему проектных решений, на-

¹ Абчук В. А. Принятие решений в условиях неопределенной информации. — Л.: Изд-во ЛЭТИ, 1987. 37 с.; Акулич И. Л. Принятие решений и проектирование систем управления. — Рига: Изд-во РПИ, 1985. 36 с.; Алдокин И. П., Бубенко И. В. Теория принятия решений; Афоничкин А. И. Принятие управленческих решений в экономических системах; Рейльян Я. Р. Аналитическая основа принятия управленческих решений. — М.: Юнити. 2003; Авдулов П. В. Введение в теорию принятия решений. — М., 2004.

² См.: Разработка бизнес-приложений в экономике / Под ред. А. И. Афоничкина. — М., 2003.

правленных на достижение инвестиционных целей предприятия. При этом формируется целый спектр проектов, из которых требуется выбрать наиболее эффективный. Выбор такого альтернативного проекта представляет собой достаточно сложную задачу, требующую проведения системного анализа структуры каждого варианта и оценки ее потенциальной эффективности.

Обоснование и выбор эффективного варианта проекта могут быть сформулированы в виде многокритериальной задачи, постановка которой описывается матрицами, в соответствии с имеющимися условиями неопределенности и типом лица, принимающего инвестиционные решения.

Постановка задача выбора инвестиционного решения представляется в виде многокритериальной задачи принятия решений.

9.2. Выбор наилучшего проекта с использованием лексикографического метода

В качестве примера для анализа методов решения оценки и выбора инвестиционных проектов и принятия решений по их реализации приведем варианты проектов реорганизации и строительства авторемонтной мастерской.

Пример 9.1. По данным реструктуризации технологии производства были рассчитаны три варианта инвестиций (табл. 9.1).

Таблица 9.1. Затраты на реинжиниринг технологии производства

Показатели	Варианты		
	A_1	A_2	A_3
1. Затраты на мастерской k_1 , тыс. руб.	972,0	972,0	972,0
2. Цеховые расходы k_2 , тыс. руб.	1061,2	1062,2	1061,2
3. Покупка запасных частей k_3 , тыс. руб.	6900,0	6904,3	6900,0
4. Всего затрат на ремонт и ТО k_4 , тыс. руб.	11202,0	10790,7	10450,0
5. Выручка за услуги k_5 , тыс. руб.	11704,0	11710,7	11704,0
6. Коммерческая прибыль k_6 , тыс. руб.	502,0	920,0	1254,0
7. Размер инвестиций k_7 , тыс. руб.	230,0	350,0	573,0
8. Степень риска k_8	0,15	0,35	0,5

Если для восьми критериев, характеризующих экономические показатели проектов, можно некоторым образом сформулировать коэффициенты важности и если их значения таковы, что можно однозначно провести ранжирование критериев по степени важности, то для решения задачи можно использовать лексикографические методы.

Пусть коэффициенты важности критериев определены в виде ранговых оценок (табл. 9.2).

Для реализации процедуры решения на основании данных, приведенных в табл. 9.1, построим электронную таблицу, на базе которой сформируем модель решения.

Таблица 9.2. Коэффициенты важности критериев выбора

Показатели (критерии выбора)	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8
Коэффициент важности критерия	4	8	7	5	6	1	2	3

Для этого в ЭТ в блоке ячеек **A1:E12** строим таблицу исходных данных (рис. 9.1).

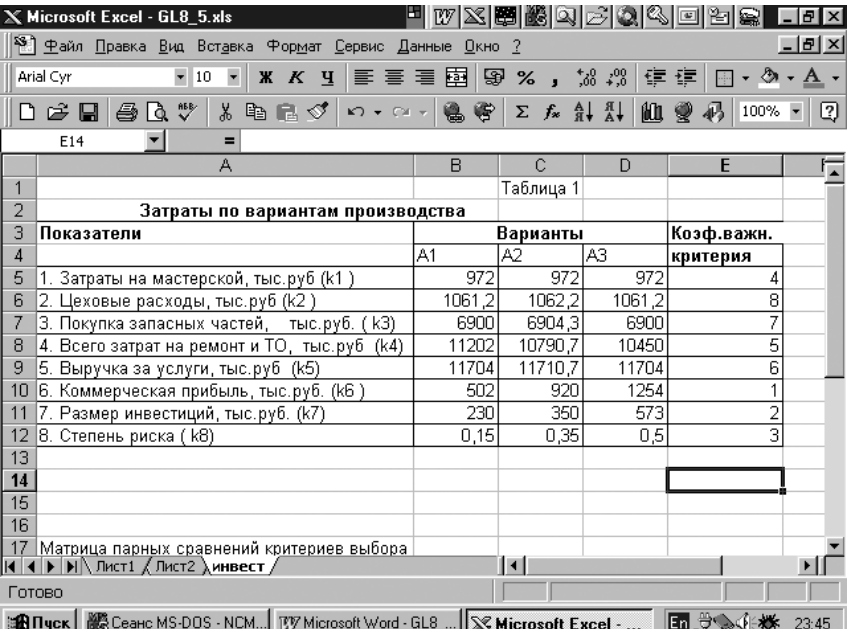


Рис. 9.1. Электронная таблица исходных данных по вариантам проекта и значений важности критериев

Если однозначная формулировка степеней важности затруднена, то для их сравнительного анализа можно использовать метод парного сравнения, который позволяет попарно сравнить критерии друг с другом. Вид матрицы приведен в табл. 9.3.

Электронная таблица для проведения парных сравнений критериев приведена на рис. 9.2. Таблица 2 на этом рисунке занимает блок ячеек **A17:K29**. Данные повторяют матрицу парных сравнений (табл. 9.3). В строке **J29** записываем формулу суммирования количества баллов по всем критериям оценки проекта = **СУММ(J21:J28)**. Для расчета относительной важности критериев (ячейки диапазона **K21:K28**) в ячейке **K21** построим формулу вида = **J21/SJ\$29**. Затем данную формулу необходимо скопировать в диапазон **K22:K28**. Сумма

Таблица 9.3. Матрица парных сравнений критериев выбора

Критерии выбора	Критерии выбора								сумма баллов	относительная важность
	k_1	k_2	k_3	K_4	k_5	K_6	K_7	k_8		
k_1	1	1	0	0	0	0	0	1	3	$3/36 = 0,07$
k_2	0	1	0	1	0	0	0	0	2	0,06
k_3	1	1	1	0	1	0	0	0	4	0,11
k_4	1	0	1	1	0	0	0	1	4	0,11
k_4	1	1	0	1	1	0	1	0	5	0,14
k_5	1	1	1	1	1	1	1	0	7	0,2
k_6	1	1	1	1	0	0	1	0	5	0,14
k_8	0	1	1	0	1	1	1	1	6	0,17
Итого									36	1

значений относительной важности должна быть равна 1. Для оценки суммы в ячейке **K29** запишем формулу = СУММ(K21:K28).

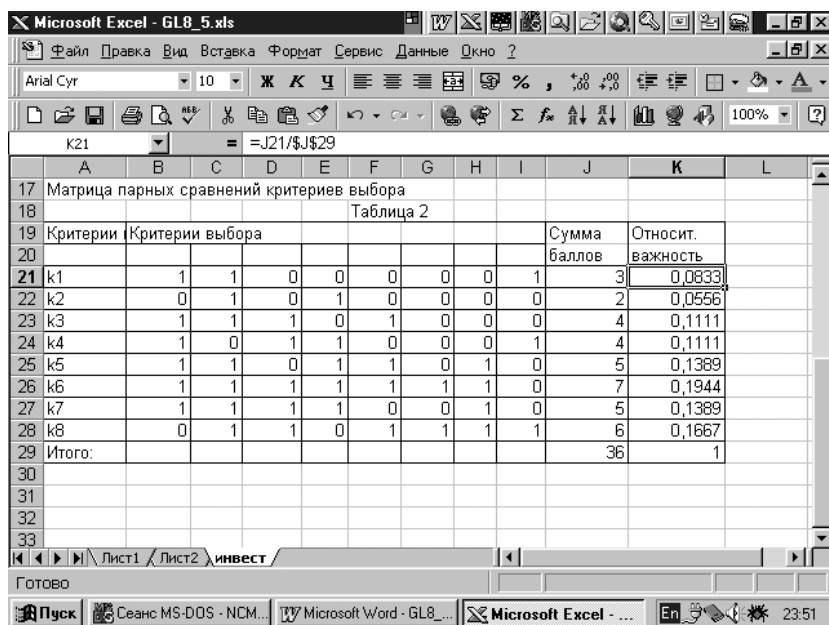


Рис. 9.2. Матрица парных сравнений локальных критериев

На основании относительных значений важности проведем ранжирование критериев (табл. 9.4).

Таблица 9.4. Ранжированный список критериев

Показатели	Критерии							
Критерий выбора	k_6	k_8	k_7	k_3	k_4	k_3	k_1	k_2
Относительная важность	0,194	0,167	0,139	0,139	0,111	0,111	0,083	0,056

Ранжирование критериев по рассчитанным значениям важности (табл. 9.4) имеет вид

$$k_6 > k_8 > k_7 \approx k_5 > k_4 \approx k_3 > k_1 > k_2.$$

Таким образом, выявлен наиболее важный критерий k_6 , по которому можно сформулировать однокритериальную задачу выбора с учетом того, что все альтернативы удовлетворяют критериальным ограничениям. Тогда задача выбора имеет вид, представленный в табл. 9.5.

Таблица 9.5. Однокритериальная задача выбора проекта

Показатели	Варианты		
	1	2	3
6. Коммерческая прибыль k_6 , тыс. руб.	502,0	920,0	1254,0

По показателю k_6 (коммерческая прибыль, тыс. руб.) процедура выбора проводится в соответствии со стратегией максимизации прибыли:

$$Y_{\text{онт}} = Y^* = \max\{k(Y_1), k(Y_2), k(Y_3)\} = \max(502,0; 920,0; 1254,0) = 1254,0 \Rightarrow Y_3,$$

тогда предпочтения вариантов проектов расположатся следующим образом:

$$\{\text{Проект 3 } (k_{63} = 1254,0)\} > \{\text{Проект 2 } (k_{62} = 920,0)\} > \{\text{Проект 1 } (k_{61} = 502,0)\}.$$

На последнем этапе выбора на основании выделенного критерия эффективности построим таблицу решения (рис. 9.3), выделив из предыдущей таблицы строку, характеризующую наиболее важный критерий.

В ячейку **E34** запишем формулу выбора максимального значения из диапазона значений критериев, т. е. = **МАКС(B34:D34)**.

В ячейку **F34** запишем формулу выбора индекса проекта по значению оптимальной величины критерия, а именно:

$$= \text{ЕСЛИ}(E34 = D34; D33; \text{ЕСЛИ}(E34 = C34; C33; B33))$$

На основании вычисленных значений введенных формул в ячейке **F34** формируется индекс проекта, значение критерия эффективности которого является максимальным.

Microsoft Excel - GL8_5.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно ?

Arial Cyr 10 Ж К Ч

E34 =МАКС(B34:D340)

	A	B	C	D	E	F
29	Итого:					
30						
31	Затраты по вариантам производства				Таблица 3	
32	Показатели		Варианты	Оптимальное значение	Оптимальный вариант	
33		П1	П2	П3		
34	6. Коммерческая прибыль, тыс.руб. (k6)	502	920	1254	1254	П3
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						

Лист1 Лист2 инвест

Готово

Пуск Сеанс MS-DOS - NCM... Microsoft Word - GL8... Microsoft Excel - ... 0:16

Рис. 9.3. Реализация процедуры поиска оптимального варианта

Таким образом, для выбора варианта проекта была реализована процедура ранжирования критериев.

Однако если нельзя сформулировать (выбрать) наиболее важный критерий или критерии имеют равноважные значения, то задачу оценки и выбора проектов можно решать, используя метод «смещенного идеала».

9.3. Выбор проекта на основании метода смещенного идеала

Рассмотрим автоматизированное решение задачи принятия решений по методу «смещенного идеала» на вышеприведенном примере (табл. 9.1).

Считаем, что на предварительном этапе анализа проектов были сформированы критериальные ограничения и часть проектов, удовлетворяющих им, представлена в виде допустимого множества альтернатив, которые и отражены в табл. 9.1.

На следующем шаге решения необходимо на основании данных, приведенных в исходной матрице, сформировать идеальный объект, значения критериев которого будут равны максимальным значениям показателей эффективности

(критериев выбора), полезность по которым возрастает, и минимальным, полезность по которым убывает. Таким образом, получаем идеальный объект, вектор значений которых составлен следующим образом:

$$Y^+ = \{k_1^+, k_2^+, \dots, k_8^+\}, \tag{9.1}$$

где $Y^+ \notin \{Y_1, Y_2, Y_3\}$ может не принадлежать множеству допустимых или даже реально существующих объектов.

Кроме идеального объекта сформируем также модель наихудшего объекта, т. е. проекта, который по своим значениям параметров однозначно не является эффективным.

Значения критериев такого ненаилучшего (наихудшего) объекта будут равны минимальным значениям показателей эффективности (критериев выбора), полезность по которым возрастает, и максимальным — полезность по которым убывает. Таким образом, получаем наихудший объект, вектор значений которых составлен следующим образом:

$$Y^- = \{k_1^-, k_2^-, \dots, k_8^-\}. \tag{9.2}$$

Значения идеального и наихудшего объектов приведены в двух последних графах табл. 9.6.

Таблица 9.6. Матрица значений идеального и наихудшего альтернатив

Показатели	Варианты			Идеальный объект	Наихудший объект
	Y_1	Y_2	4_3	Y^+	Y^-
1. Затраты на мастерской k_1 , тыс. руб.	972	972	972	972	972
2. Цеховые расходы k_2 , тыс. руб.	1061,2	1062,2	1061,2	1061,2	1062,2
3. Покупка запасных частей k_3 , тыс. руб.	6900,0	6904,3	6900,0	6900,0	6904,3
4. Всего затрат на ремонт и ТО k_4 , тыс. руб.	11202,0	10790,7	10450,0	10450,0	11202,0
5. Выручка за услуги k_5 , тыс. руб.	11704,0	10306,0	12560,0	12560,0	10306,0
6. Коммерческая прибыль k_6 , тыс. руб.	502,0	920,0	1254,0	1254,0	502,0
7. Размер инвестиций k_7 , тыс. руб.	230,0	350,0	573,0	230,0	573,0
8. Степень риска k_8	0,15	0,35	0,5	0,15	0,5

Реализация данного метода в ЭТ предполагает использование данных, приведенных на рис. 9.1 (здесь альтернативы Y представлены обозначениями A). Построим таблицу исходных данных наилучшим и наихудшим вариантами. Для этого в диапазоне ячеек **E6 : E13** формируем значения, характеризующие наилучшие значения параметров проекта. Например, для критерия «Коммерческая прибыль» в ячейке **E11** запишем формулу выбора максимального зна-

чения этого критерия = **МАКС(B11:D11)**. В ячейке **F11** запишем формулу выбора минимального значения параметра (значение данного критерия для формирования наихудшего объекта) = **МИН((B11:D11))**. Структура ЭТ с исходными данными и параметрами наилучшего и наихудшего объектов приведена на рис. 9.4.

The screenshot shows a Microsoft Excel window titled "GL8_5.xls". The active sheet is "Лист1". The formula bar shows "=МИН(B7:D7)". The table data is as follows:

	A	B	C	D	E	F
2				Таблица 1		
3	Затраты по вариантам производства					
4	Показатели	Варианты			Идеальный объект	Наихудший объект
5		A1	A2	A3		
6	1. Затраты на мастерской, тыс. руб	972	972	972	972	972
7	2. Цеховые расходы, тыс. руб (k2)	1061,2	1062,2	1061,2	1062,2	1061,2
8	3. Покупка запасных частей, тыс.	6900	6904,3	6900	6900	6904,3
9	4. Всего затрат на ремонт и ТО, тыс.	11202	10790,7	10450	10450	11202
10	5. Выручка за услуги, тыс. руб (k5)	11704	10306	12560	12560	10306
11	6. Коммерческая прибыль, тыс. руб	502	920	1254	1254	502
12	7. Размер инвестиций, тыс. руб. (k7)	230	350	573	230	573
13	8. Степень риска (k8)	0,15	0,35	0,5	0,15	0,5
14						
15						
16						
17						
18						

Рис. 9.4. Электронная таблица с исходными данными и идеальным и наихудшим объектами

Таким образом, построенные идеальный и наихудший объекты задают шкалу, на которой можно рассматривать и оценивать текущие объекты с точки зрения удаления или приближения к идеальному (наихудшему) объекту.

Анализ значений полученных объектов показывает, что критерии, по которым значения наилучшего и наихудшего объектов совпадают, можно удалить из рассмотрения. К ним можно отнести критерии k_1, k_2, k_3 .

Таким образом, снижаем размерность пространства критериев и получаем матрицу значений, представленную в табл. 9.7.

Для сопоставления значений критериев необходимо перейти к нормированным единицам, преобразуя их значения по формуле

$$b_i = \frac{(k^+ - k_i)}{(k^+ - k^-)}, \quad (9.3)$$

Таблица 9.7. Матрица значений идеального и наихудшего объектов для усеченного пространства критериев

Показатели	Варианты			Идеальный объект	Наихудший объект
	Y_1	Y_2	Y_3	Y^+	Y^-
4. Всего затрат на ремонт и ТО k_4 , тыс. руб.	11202,0	10790,7	10450,0	10450,0	11202,0
5. Выручка за услуги k_5 , тыс. руб.	11704,0	10306,0	12560,0	112560,0	10306,0
6. Коммерческая прибыль k_6 , тыс. руб.	502,0	920,0	1254,0	1254,0	502,0
7. Размер инвестиций k_7 , тыс. руб.	230,0	350,0	573,0	230,0	573,0
8. Степень риска k_8	0,15	0,35	0,5	0,15	0,5

где k_j — текущее значение критерия сравниваемого объекта.

Тогда, переходя к относительным значениям критериев, получим матрицу вариантов проектов в относительных единицах (табл. 9.8).

Таблица 9.8. Матрица вариантов проектов в относительных единицах

Показатели	Варианты		
	Y_1	Y_2	Y_3
Всего затрат на ремонт и ТО k_4 , тыс. руб.	1,00	0,45	0,00
Выручка за услуги k_5 , тыс. руб.	0,38	1,00	0,00
Коммерческая прибыль k_6 , тыс. руб.	1,00	0,44	0,00
Размер инвестиций k_7 , тыс. руб.	0,00	0,35	1,00
Степень риска k_8	0,00	0,57	1,00

В ячейках записываем формулу нормирования значений (9.3):

в ячейку **B20** формулу $=(E9-B9)/(E9-F9)$;

в ячейку **C20** формулу $=(E9-C9)/(E9-F9)$;

в ячейку **D20** формулу $=(E9-D9)/(E9-F9)$.

Далее следует скопировать формулы по соответствующей графе, перетавив маркер заполнения вниз по графе.

Структура ЭТ, содержащей матрицу нормированных значений критериев, приведена на рис. 9.5.

Значения критерия в относительных единицах b_i интерпретируются как расстояние от объекта Y_j по критерию k_i до идеального объекта.

Идеальный объект по исследуемому критерию имеет расстояние $b_i = 0$, а наихудший — $b_i = 1$.

Для выявления ненаилучших объектов найдем расстояние каждого объекта до идеального объекта, используя следующую обобщенную метрику:

	A	B	C	D	E	F
15						
16	Нормированные значения показателей					
17			Таблица 2			
18	Показатели		Варианты			
19		П1	П2	П3		
20	4. Всего затрат на ремонт и ТО, тыс.руб	1,000	0,453	0,000		
21	5. Выручка за услуги, тыс.руб. (k5)	0,380	1,000	0,000		
22	6. Коммерческая прибыль, тыс.руб. (k6)	1,000	0,444	0,000		
23	7. Размер инвестиций, тыс.руб. (k7)	0,000	0,350	1,000		
24	8. Степень риска (k8)	0,000	0,571	1,000		
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						

Рис. 9.5. Матрица нормированных значений критериев

$$L^p = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^m (1 - b_i)^p}, \quad (9.4)$$

где p — некоторый коэффициент, характеризующий степень концентрации, позволяющий переходить к различным видам метрики для вычисления расстояния.

Для значений матрицы в относительных единицах найдем разность $1 - b_i$, и данные величины перепишем в таблицу метрики (рис. 9.6). Данная таблица занимает диапазон ячеек **A26 : E34**, а значение ячеек матрицы вычисляется так: например, для ячейки **B30** записываем формулу **= 1-B20**.

Если для критериев можно сформулировать значения коэффициентов важности β , то в формулу обобщенной метрики (9.4) вводится относительная важность критериев в виде вектора весов $\{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$, и метрика расстояния характеризует взвешенную по важности меру близости к идеальному объекту.

$$L^p = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^m \beta_i (1 - b_i)^p}. \quad (9.5)$$

Воспользуемся значениями коэффициентов важности, вычисленными по матрице парных сравнений (табл. 9.3), и перепишем их в матрицу (табл. 9.9).

	A	B	C	D	E	F
19		П1	П2	П3	важность	
20	4. Всего затрат на ремонт и ТО, тыс.руб	1,000	0,453	0,000	0,11	
21	5. Выручка за услуги, тыс.руб (k5)	0,380	1,000	0,000	0,14	
22	6. Коммерческая прибыль, тыс.руб. (k6)	1,000	0,444	0,000	0,2	
23	7. Размер инвестиций, тыс.руб. (k7)	0,000	0,350	1,000	0,14	
24	8. Степень риска (k8)	0,000	0,571	1,000	0,17	
25						
26	Нормированные значения показателей					
27		Таблица 3				
28	Показатели	Варианты			Относит.	
29		П1	П2	П3	важность	
30	4. Всего затрат на ремонт и ТО, тыс.руб	0,000	0,547	1,000	0,11	
31	5. Выручка за услуги, тыс.руб (k5)	0,620	0,000	1,000	0,14	
32	6. Коммерческая прибыль, тыс.руб. (k6)	0,000	0,556	1,000	0,2	
33	7. Размер инвестиций, тыс.руб. (k7)	1,000	0,650	0,000	0,14	
34	8. Степень риска (k8)	1,000	0,429	0,000	0,17	
35						

Рис. 9.6. Вычисление матрицы нормированных расстояний $(1 - b_i)$

Таблица 9.9. Вектор степеней важности критериев

Критерии выбора	K_4	k_5	k_6	k_7	k_9
Относительная важность	0,11	0,14	0,2	0,14	0,17

Вводим значение коэффициентов важности в табл. 3 на рис. 9.6 в диапазон ячеек **E30 : E34**.

Чем больше значение метрики L , тем дальше этот коэффициент отстоит от наихудшего и соответственно ближе к идеальному. При различных значениях коэффициента концентрации p получим различные виды метрик.

Например, для $p = 1$ получаем взвешенную линейную метрику:

$$L^p = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^m \beta_i (1 - b_i)^p}.$$

При $p = 2$ получаем функцию L — евклидова расстояния:

$$L^2 = \sqrt{\sum_{i=1}^m \beta_i (1 - b_i)^2}.$$

Максимальное значение метрики L говорит о наибольшей близости объекта к идеальному. Таким образом, присваивая p разные значения, получаем различные стратегии формирования предпочтений и выбора. Вычислим для рассматриваемого примера разные метрики, соответствующие различным стратегиям выбора, и значения запишем в табл. 9.10.

Таблица 9.10. Матрица расстояний при различных коэффициентах

Коэффициент концентрации метрики	Значения меры расстояния		
	Y_1	Y_2	Y_3
$p = 1$	0,397	0,335	0,450
$p = 2$	1,019	0,850	1,153
$p = 4$	1,633	1,360	1,856

Данная таблица реализуется так. В диапазоне ячеек **A36 : D42** строим таблицу вычисления метрики расстояния при различных степенях концентрации p (рис. 9.7).

На основании полученных мер близости сформулируем ранжированные по метрике расстояния предпочтения в соответствии со значением коэффициента концентрации.

The screenshot shows Microsoft Excel with the following content:

- Formula bar: `=КОРЕНЬ(КОРЕНЬ(СУММПРОИЗВ(В30:В34;В30:В34;В30:В34;В30:В34;Е30:Е34)))`
- Table 4 (starting at cell A36):

Значения меры расстояния при различных коэффициентах p			
Таблица 4			
Коэффициент концентрации метрики	Значения меры расстояния		
	П1	П2	П3
p=1	0,396832	0,335211	0,45
p=2	0,603205	0,430234	0,67082
p=4	0,758341	0,494272	0,819036

Рис. 9.7. Матрица расстояния при различных степенях концентрации

На основании полученных значений расстояний сформулируем предпочтения вариантов.

Получаем следующие ранжировки предпочтений:

$$\text{для } p = 1: Y_3 > Y_1 > Y_2,$$

$$\text{для } p = 2: Y_3 > Y_1 > Y_2,$$

$$\text{для } p = 4: Y_3 > Y_1 > Y_2.$$

Ненаилучшие решения в данном случае — это те, которые всегда доминируются, т. е. это альтернативные проекты Y_1 , Y_2 , являющиеся наименее предпочтительными по всем используемым метрикам.

Исключая их из дальнейшего рассмотрения, получим сокращенное множество альтернатив, состоящее в нашем случае из одной альтернативы Y_3 . Таким образом, в качестве оптимального варианта выбираем проект 3.

Если сокращенное множество альтернатив состоит более чем из одного объекта, процедура повторяется, начиная с построения нового идеального объекта. Процесс «отсеивания» ненаилучших решений повторяется до тех пор, пока не выявится один доминирующий объект или не станут ясны предпочтения лица, принимающего инвестиционные решения.

Использование методов выделения наиболее важного критерия и «смещенного идеала» дает одинаковые результаты — в качестве оптимального решения выбирается вариант 3.

Другим часто используемым при оценке проектов способом обоснования и выбора оптимального проекта из множества допустимых, учитывающим также непосредственные инвестиционные риски, является *группа методов, базирующихся на принципах сопоставимости показателей* инвестиционных проектов к различным моментам времени. Оценочные показатели, служащие основой для принятия управленческих решений, можно условно подразделить на две группы:

- основанные на дисконтированных оценках;
- основанные на учетных оценках.

Для иллюстрации использования реализации данного метода в условиях риска можно использовать оценочные показатели¹.

9.4. Задача выбора оборудования

Рассмотрим задачу оценки и выбора оборудования для комплектации и разработки информационной сети компании. При анализе требований к рабочим станциям сети особое внимание необходимо уделить мониторам,

¹ Конаненко А. Ф., Халезов А. Д., Чумаков В. В. Принятие решений в условиях неопределенности. — М.: ВЦ АН СССР, 1991. 198 с.; Кулиев Р. И. Принятие решений в условиях неопределенности. — Баку: Бакинский ГУ, 1987. 53 с.

которые требуют учета ряда факторов не только производственных и технико-экономических, но и эргономических и экологических.

Такая задача относится к многокритериальным задачам с разнородными критериями.

Рассмотрим пример решения задачи принятия решений методом смещенного идеала. Для анализа предложенных моделей мониторов можно воспользоваться данным методом, где в качестве критериев выбора выступают параметры, используемые для оценки степени конкурентоспособности монитора. Можно сформулировать некоторый обобщенный показатель, интегрирующий в себе локальные критерии выбора.

Под интегральным показателем будем понимать обобщенный показатель оценки качества монитора, выраженный в безразмерных единицах. Важно правильно выбрать базу сравнения в виде некоторого идеального объекта.

Для примера проанализируем модели девяти мониторов (табл. 9.11).

Таблица 9.11. Описание мониторов для выбора

Номер	Тип монитора	Номер	Тип монитора
A_1	LG StudioWorks 44i	A_6	ViewSonic 17EA
A_2	Sony CPD – G200	A_7	ViewSonic 15GS
A_3	Nokia 447PRO	A_8	ViewSonic 17GA
A_4	Samsung SyncMaster 700 IFT	A_9	ViewSonic 17PS
A_5	ViewSonic E641		

Сформируем идеальный объект в виде модели монитора с лучшими технико-экономическими и другими параметрами, взятыми от других моделей. С другой стороны, в качестве идеального можно взять монитор, выбранный экспертами в качестве лучшей модели в соотношении «цена–качество».

Предположим, что экспертный опрос выявил такую модель — *LG Flatron 795FT Plus*.

Технико-экономические параметры мониторов представлены на рис. 9.8 и 9.9.

Таблица исходных данных занимает диапазон ячеек **A3 : J15**. Информацией для заполнения таблицы служат прайс-листы на мониторы.

Отдельно выделяем технические и экономические параметры объектов, которые занимают блоки ячеек **A3 : G15** и **H3 : J15**, соответственно (рис. 9.9).

Определим показатель конкурентоспособности каждой модели.

Одним из подходов определения конкурентоспособности изделия может быть выбран подход, в котором за базу оценки может быть принят показатель потребности. При этом упрощенная формула расчета выглядит так:

$$P_i = \frac{P_i}{P_{i0}} \times 100, \quad i = 1 \dots n,$$

где P_i — величина i -го параметра для анализируемой продукции; P_{i0} — величина i -го параметра, при которой потребности удовлетворяются полностью; i — общее количество параметров.

Таблица исходных данных						
Модель монитора	Технические параметры					
	Размер экрана по диагонали, дюйм	Размер зерна экрана, мм	Максимальная частота горизонтальной развертки, кГц	Максимальная частота вертикальной развертки, Гц	Наличие экранного меню	Вес, кг
LG Flatron 795FT Plus	17	0,24	96	160	1	21
LG StudioWorks 4#	14	0,28	50	90	0	10,5
Sony CPD - G200	17	0,25	96	120	1	20
Nokia 447PRO	17	0,25	96	150	1	19
Samsung SyncMaster 700 IFT	17	0,25	96	120	1	20
ViewSonic E6#1	14	0,28	54	100	0	10
ViewSonic 17EA	17	0,28	69	120	1	18,5
ViewSonic 15GS	15	0,27	69	160	1	20
ViewSonic 17GA	17	0,27	69	160	1	20
ViewSonic 17PS	17	0,25	86	160	1	19,5

Рис. 9.8. Перечень технических параметров мониторов

Таблица 1			
Модель монитора	Экономические параметры		
	Цена, у.е.	Минимальная стоимость ремонта мониторов, руб	Стоимость профилактики мониторов, руб
LG Flatron 795FT Plus	359	250	90
LG StudioWorks 4#	140	120	70
Sony CPD - G200	467	300	90
Nokia 447PRO	499	220	90
Samsung SyncMaster 700 IFT	347	180	90
ViewSonic E6#1	179	140	70
ViewSonic 17EA	296	180	80
ViewSonic 15GS	199	160	80
ViewSonic 17GA	310	200	85
ViewSonic 17PS	323	200	85

Рис. 9.9. Перечень экономических параметров мониторов

В нашем случае есть параметр, при расчете которого за базу оценки принимается образец — размер зерна экрана. В этом случае формула расчета выглядит так:

$$P'_i = \frac{P_{i0}}{P_i} \times 100,$$

Далее выбирается нормативный показатель $I_{ин}$: в нашем случае он равен 1, так как все модели мониторов соответствуют стандартам.

В результате оценки технических параметров вычисляется групповой показатель конкурентоспособности по техническим параметрам:

$$I_{ин} = \sum_{i=1}^n P_i \times a_i,$$

где a_i — весомость i -го параметра в общем наборе из n технологических параметров, характеризующих весомость (процентные показатели весомости даны в таблице расчетов).

Далее перейдем к анализу экономических показателей. Следует отметить, что в нашем случае мы используем коэффициент приведения эксплуатационных затрат, который вычисляется в таблицах по данной ставке рефинансирования 22% на пятилетний срок эксплуатации.

Для вычисления коэффициента приведения на рис. 9.10 построена табл. 2, в которой рассчитан данный показатель на каждый год из расчета пяти лет эксплуатации. Данная таблица занимает диапазон ячеек **A22 : F25**. Ставку рефинансирования, которую примем равной 22%, помещаем в ячейку **F22**, срок эксплуатации составляет 5 лет (ячейка **F23**). В строке 25 записываем формулы вычисления коэффициента приведения за каждый срок эксплуатации:

В ячейке **B25** формулу **=(1+(F22/100))**;

в ячейке **C25** формулу **=СТЕПЕНЬ(1+B25/100;C24)**;

в ячейке **D25** формулу **=СТЕПЕНЬ(1+C25/100;D24)**;

в ячейке **E25** формулу **=СТЕПЕНЬ(1+D25/100;E24)**;

в ячейке **F25** формулу **=СТЕПЕНЬ(1+E25/100;F24)**.

На основании табл. 1 и 2 (рис. 9.8–9.10) рассчитаем нормированные значения показателей мониторов. Для этого в диапазоне ячеек **A35 : K45** строим таблицу расчета (табл. 3), приведенную на рис. 9.11–9.12. Нормированные значения технических параметров реализуются формулой относительной доли значения текущего параметра к аналогичному параметру идеального объекта. Значения параметров идеального объекта приведены в строке 6 табл. 1 на рис. 9.8.

Таким образом:

в ячейку **B37** вводим формулу **=B7/B\$6**;

в ячейку **C37** вводим формулу **=C\$6/C7**;

в ячейку **D37** вводим формулу **=D7/D\$6**;

в ячейку **E37** вводим формулу **=E7/E\$6**;

в ячейку **F37** вводим формулу **=F7/F\$6**;

в ячейку **G37** вводим формулу **=G7/G\$6**.

Microsoft Excel - GL8_5.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно ?

Arial Cyr 10 Ж К Ч

F25 =СТЕПЕНЬ(1+E25/100;F24)

	A	B	C	D	E	F	G
9	Nokia 447PRO	17	0,25	96	150	1	19
10	Samsung SyncMaster 700 IFT	17	0,25	96	120	1	20
11	ViewSonic E641	14	0,28	54	100	0	10
12	ViewSonic 17EA	17	0,28	69	120	1	18,5
13	ViewSonic 15GS	15	0,27	69	160	1	20
14	ViewSonic 17GA	17	0,27	69	160	1	20
15	ViewSonic 17PS	17	0,25	86	160	1	19,5

21

Таблица расчетов коэффициента приведения

Таблица 2

Ставка рефинансирования	22%				
Срок эксплуатационной службы	5 лет				
года	1	2	3	4	5
Коэффициент приведения	100,22%	102,01%	103,09%	104,19%	105,32%

Лист1 идеал_об монитор инвест

Рис. 9.10. Таблица расчета коэффициентов приведения

Microsoft Excel - GL8_5.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно ?

Arial Cyr 10 Ж К Ч

B37 =B7/B\$6

	A	B	C	D	E	F	G
32	Таблица 3						
33	Таблица расчетов групповых показателей по техническим, экономическим и нормативным						
34							
35	Модель монитора	Нормированные значения показателей мониторов по i-ному техническому параметру, Pi					
36	LG Flatron 795FT Plus	0,8235	0,8571	0,5208	0,5625	0	0,5000
37	LG StudioWorks 44	1	0,9600	1	0,7500	1	0,9524
38	Sony CPD- G200	1	0,9600	1	0,9375	1	0,9048
39	Nokia 447PRO	1	0,9600	1	0,7500	1	0,9524
40	Samsung SyncMaster 700 IFT	1	0,9600	1	0,7500	1	0,9524
41	ViewSonic E641	0,8235	0,8571	0,5625	0,6250	0	0,4762
42	ViewSonic 17EA	1	0,8571	0,7188	0,7500	1	0,8810
43	ViewSonic 15GS	0,8824	0,8889	0,7188	1	1	0,9524
44	ViewSonic 17GA	1	0,8889	0,7188	1	1	0,9524
45	ViewSonic 17PS	1	0,9600	0,8958	1	1	0,9286
46	Коэффициент важности технических параметров	0,18	0,40	0,19	0,19	0,30	0,10

Лист1 идеал_об монитор инвест

Рис. 9.11. Таблица нормированных значений показателей оценки монитора (технические параметры)

Затем копируем данные формулы на всю графу данных по каждой модели. В строке 46 формируем данные по значениям коэффициентов важности технических параметров мониторов, полученные в ходе экспертного опроса потребителей. И в диапазоне ячеек **H37 : H45** вычисляем групповой технический показатель оценки монитора в виде средневзвешенных по важности параметров. Для этого в ячейке **H37** записываем формулу **=B37*B\$46+C37*C\$46+D37*D\$46+E37*E\$46+F37*F\$46+G37*G\$46**, а затем копируем ее на весь диапазон.

Таблица нормированных значений показателей оценки мониторов в части технических параметров приведена в табл. 3 на рис. 9.11.

В части экономических и нормативных показателей мониторов проведем расчет полных затрат на закупку монитора.

Расчет полных затрат потребителя на приобретение данной продукции будет выглядеть так:

$$Z = Z_e + \sum_{i=1}^T C_i \times a_i,$$

где C_i — средние суммарные затраты на эксплуатацию продукции, относящиеся к i -му году ее службы; Z_e — единовременные затраты на приобретение продукции; T — срок службы; a_i — коэффициент приведения затрат к расчетному году.

$$C_i = \sum_{j=1}^n C_j,$$

где C_j — эксплуатационные затраты по j -й статье; j — количество статей эксплуатационных затрат.

Тогда групповой показатель по экономическим параметрам определяется так:

$$I'_{эл} = \frac{Z_e + \sum_{i=1}^T C_i \times a_i}{Z_{e0} + \sum_{i=1}^T C_{i0} \times a_i},$$

где C_{i0} — средние суммарные затраты на эксплуатацию образца, относящиеся к i -му году его службы; Z_{e0} — единовременные затраты на приобретение образца.

Реализация данных расчетов требует построения продолжения табл. 3 для расчета нормированных показателей экономических и нормативных параметров.

Для этого в диапазоне ячеек **I37 : I45** вычисляем затраты на приобретение монитора, используя вышеприведенные формулы расчета. В ячейке **I36** запишем формулу расчета полных затрат для идеального варианта монитора:

=H6+(I6*\$B\$25)+(I6*\$C\$25)+(I6*\$D\$25)+(I6*\$E\$25)+(I6*\$F\$25)+(J6*\$B\$25)+(J6*\$C\$25)+(J6*\$D\$25)+(J6*\$E\$25)+(J6*\$F\$25).

Аналогично определяем показатели затрат и для остальных моделей, копируя данную формулу на соответствующий диапазон.

Для расчета группового показателя по экономическим параметрам на основании показателей полных затрат на идеальный объект и анализируемый сделаем следующие расчеты, поместив в ячейку **J37** формулу **=I37/\$I\$36**. Копируя данную формулу на диапазон, получим полный расчет по всем мониторам.

Нормативные требования определяются ГОСТом на мониторы и их соответствие задается значением 1 в соответствующей ячейке диапазона **K37 : K45**. Групповой показатель по нормативным параметрам в этом диапазоне равен 1.

Структура таблицы расчета групповых, нормированных экономических и нормативных показателей приведена на рис. 9.12 (продолжение табл. 3).

Модель монитора	Групповой показатель по техническим параметрам, /шт	Полные затраты, З	Групповой показатель по экономическим параметрам, /зп	Групповой показатель по нормативным параметрам
LG Flatron 795FT Plus		2109,43		
LG StudioWorkes 44	0,747	1118,183	0,530	1
Sony CPD - G200	1,292	2474,849	1,173	1
Nokia 447PRO	1,323	2094,983	0,993	1
Samsung SyncMaster 700 IFT	1,292	1737,050	0,823	1
ViewSonic E641	0,764	1260,150	0,597	1
ViewSonic 17E4	1,190	1636,566	0,776	1
ViewSonic 15G3	1,236	1383,116	0,656	1
ViewSonic 17G4	1,257	1777,275	0,843	1
ViewSonic 17PS	1,317	1790,275	0,849	1
Коэффициент важности технических параметров				

Рис. 9.12. Таблица нормированных значений показателей оценки монитора (экономические и нормативные показатели)

На последнем этапе решения задачи рассчитывается интегральный показатель оценки качества каждой модели монитора, который может быть рассчитан по формуле средневзвешенной величины по групповым признакам.

В диапазоне **A50 : D60** строим таблицу расчетов интегрального показателя, формируя в соответствующих ячейках формулы. Так, например, в ячейку **B52** вводим формулу расчета интегрального показателя **=(K37*H37*J37)/3**. Копируя ее на остальной диапазон, получим спектр интегральных оценок. Структура такой таблицы приведена на рис. 9.13.

Microsoft Excel - GL8_5.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно ?

Arial Cyr 10 Ж К Ч

B52 = (K37*H37*J37)/3

	A	B	C	D	E	F	G
45	ViewSonic 17PS	1	0,9600	0,8958	1	1	0,9286
46	Коэффициент важности технических параметров	0,18	0,40	0,19	0,19	0,30	0,10

Модель монитора	Интегральный показатель оценки монитора, I_k
LG StudioWorks 44i	0,13
Sony CPD - G200	0,51
Nokia 447PRO	0,44
Samsung SyncMaster 700 IFT	0,35
ViewSonic E641	0,15
ViewSonic 17EA	0,31
ViewSonic 15GS	0,27
ViewSonic 17GA	0,35
ViewSonic 17PS	0,37

Модель монитора	Интегральный показатель оценки
Sony CPD - G200	0,
Nokia 447PRO	0,
ViewSonic 17PS	0,
Samsung SyncMaster 700	0,
ViewSonic 17GA	0,
ViewSonic 17EA	0,
ViewSonic 15GS	0,
ViewSonic E641	0,
LG StudioWorks 44i	0,

Лист1 / идеал_об / монитор / инвест /

Готово

Пуск Сеанс MS-DOS - NCM... Microsoft Word - GL8... Microsoft Excel - ... Ru 14:21

Рис. 9.13. Таблица расчета интегрального показателя (табл. 4)

Для проведения сортировки и дальнейшего ранжирования моделей по интегральному показателю можно построить вспомогательную таблицу сортировки, в которой данные представлены в виде чисел, а не формул. Для этого в диапазоне **A68 : B77** строим вспомогательную таблицу (рис. 9.14), данные которой необходимо отсортировать (проранжировать) в порядке убывания значений показателя.

Процедура сортировки предполагает следующий порядок действий.

На первом шаге выделяем блок ячеек таблицы (**A69 : B77**), содержащий данные сортировки.

На втором шаге в режиме **Данные/Сортировка** вызываем вкладку задания параметров процедуры сортировки (рис. 9.15). На этой вкладке задаем параметры сортировки диапазона, для чего в параметре «Сортировать по», нажимая стрелку открытия опций параметра, выбираем параметр «*Инт. показатель*» (заголовок графы). Для задания порядка сортировки устанавливаем флажок на опции «*по убыванию*». Так как сортировка ведется только по одному ключу (признаку), остальные параметры сортировки можно не задавать. Параметр «Идентифицировать поля по» задает идентификатор сортировки, который обозначается в параметре «Сортировать по» (в данном режиме указания ис-

Microsoft Excel - GL8_5.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно ?

Arial Cyr 10 Ж К Ч

A68 = LG StudioWorks 44i

Вспомогательная таблица сортировки

Модель монитора	Инт. Показатель
LG StudioWorks 44i	0,13
Sony CPD - G200	0,51
Nokia 447PRO	0,44
Samsung SyncMaster 700 IFT	0,35
ViewSonic E641	0,15
ViewSonic 17EA	0,31
ViewSonic 15GS	0,27
ViewSonic 17GA	0,35
ViewSonic 17PS	0,37

Рис. 9.14. Вспомогательная таблица для сортировки данных

Microsoft Excel - GL8_5.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно ?

Arial Cyr 10 Ж К Ч

A68 = LG StudioWorks 44i

Вспомогательная таблица сортировки

Модель монитора	Инт. Показатель
LG StudioWorks 44i	0,13
Sony CPD - G200	0,51
Nokia 447PRO	0,44
Samsung SyncMaster 700 IFT	0,35
ViewSonic E641	0,15
ViewSonic 17EA	0,31
ViewSonic 15GS	0,27
ViewSonic 17GA	0,35
ViewSonic 17PS	0,37

Сортировка диапазона

Сортировать по **Инт. Показатель** ☐ по возрастанию ☒ по убыванию

Затем по ☐ по возрастанию ☐ по убыванию

В последнюю очередь, по ☐ по возрастанию ☐ по убыванию

Идентифицировать поля по ☒ подписям (первая строка диапазона) ☐ обозначениям столбцов листа

Параметры... OK Отмена

Лист1 / идеал_об / монитор / инвест /

Готово

Пуск Сеанс MS-DOS - NCM... Microsoft Word - GL8... Microsoft Excel - ... 14:05

Рис. 9.15. Вкладка задания параметров сортировки диапазона вспомогательной таблицы

пользуется идентификатор в виде названия графы таблицы, выбираемой из первого поля указанного диапазона сортировки). Нажимая **ОК**, запускаем процедуру сортировки.

Отсортированная таблица приведена на рис. 9.16.

Теперь можно проставить ранги отсортированному списку и исследовать мониторы, имеющие наивысший ранг (высший ранг характеризуется минимальным значением). Для формирования ранга можно проставить по порядку значения ряда 1, 2, ..., 9, а можно воспользоваться процедурой «Автозаполнение». Для этого необходимо создать новую графу, а в ячейке C67 сформировать заголовок графы «Ранг».

Модель монитора	Инт. Показатель
Sony CPD - G200	0,51
Nokia 447PRO	0,44
ViewSonic 17PS	0,37
Samsung SyncMaster 700 IFT	0,36
ViewSonic 17GA	0,36
ViewSonic 17EA	0,31
ViewSonic 15GS	0,27
ViewSonic E641	0,16
LG StudioWorks 44	0,13

Рис. 9.16. Отсортированная таблица (по убыванию значения интегрального показателя)

Предварительно перед заполнением данных в диапазоне заполнения необходимо указать начальное значение и выделить диапазон заполнения. Для этого в ячейку C68 вводим начальное значение, равное 1. А далее выделяем диапазон ячеек **C68 : C76**.

Для автоматического формирования ряда арифметической прогрессии (а именно под эту категорию подходят значения рангов) необходимо задать в режиме **Правка** команду **Заполнить**, а в ней выбрать опцию **Прогрессия**.

В появившейся вкладке параметров задания прогрессии необходимо заполнить предлагаемый набор параметров. Параметр «*Расположение*» требует указания порядка расположения сортируемых данных, в нашем случае необходимо задать «*по столбцам*». Далее следует указать тип прогрессии — «*арифметическая*», задать шаг прогрессии — 1 и предельное значение (в нашем случае 9 — всего девять моделей в списке). Вид вкладки задания параметров заполнения ячеек значениями арифметической прогрессии приведен на рис. 9.17.

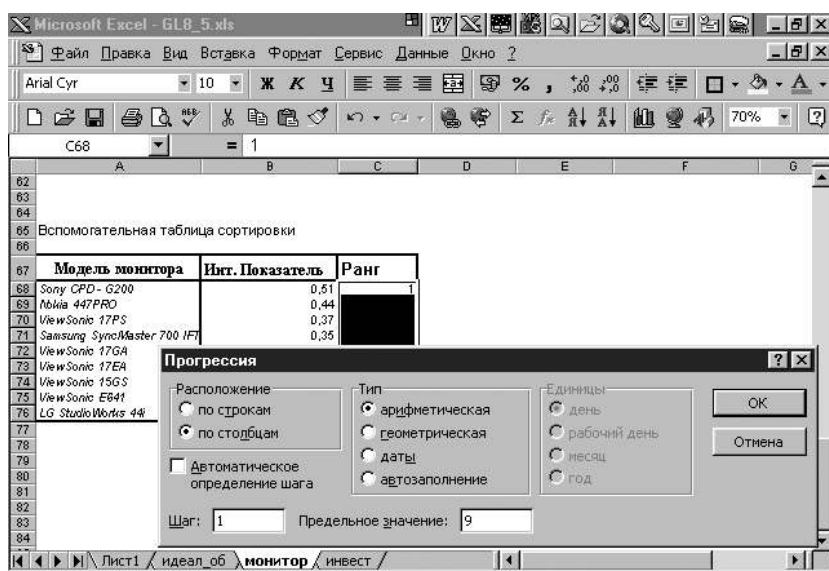


Рис. 9.17. Вкладка задания параметров Прогрессия

На рис. 9.18 приведена полная вспомогательная таблица, отсортированная с указанием ранга каждой модели монитора.

Вспомогательная таблица сортировки

Модель монитора	Инт. Показатель	Ранг
Sony CPD - G200	0,51	1
Nokia 447PRO	0,44	2
ViewSonic 17PS	0,37	3
Samsung SyncMaster 700 IFT	0,35	4
ViewSonic 17GA	0,35	5
ViewSonic 17EA	0,31	6
ViewSonic 15GS	0,27	7
ViewSonic E641	0,15	8
LG StudioWorks 44	0,13	9

Рис. 9.18. Окончательный вид вспомогательной таблицы (отсортированная и упорядоченная по рангу)

Для окончательного оформления результатов решения задачи в диапазоне **F51 : H61** строим таблицу результатов (табл. 5, рис. 9.19), копируя вспомогательную таблицу и оформляя заголовки таблицы.

The screenshot shows a Microsoft Excel window titled "Microsoft Excel - GL8_5.xls". The active sheet is "Лист1" with the range "идеал_об \> монитор \> инвест" selected. The table is located in the range F51:H61. The table has three columns: "Модель монитора", "Интегральный показатель оценки, /%", and "Ранг". The data is as follows:

Модель монитора	Интегральный показатель оценки, /%	Ранг
Sony CPD - G200	0,51	1
Nokia 447PRO	0,44	2
ViewSonic 17PS	0,37	3
Samsung SyncMaster 700	0,35	4
ViewSonic 17GA	0,35	5
ViewSonic 17EA	0,31	6
ViewSonic 15GS	0,27	7
ViewSonic E641	0,15	8
LG StudioWorks 44i	0,13	9

Рис. 9.19. Таблица результатов решения задачи выбора

Проанализируем полученные результаты.

Из представленной таблицы результатов видно, что модель *Sony CPD-G200*, имеющая ранг 1, занимает лидирующее место и хотя по отдельным техническим показателям и ценовым характеристикам несколько уступает другим представленным моделям, обобщенная оценка показывает наибольшее приближение данной модели к идеальному объекту.

Глава 10. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ СО СТРУКТУРИРОВАННЫМИ КРИТЕРИЯМИ

10.1. Метод дерева целей (метод анализа иерархий)

Метод дерева целей используется для иерархического представления факторов, учет которых представляет собой суть проблемы выбора решения. Этот подход дает возможность лицу, принимающему решение, преобразовать субъективные оценки или суждения об относительной важности этих факторов в линейный набор весовых коэффициентов, которые могут использоваться затем для ранжирования альтернатив, а также в качестве целевых функций при оптимальном выборе в условиях определенности.

Основой метода дерева целей являются структуризация пространства критериев и выявление составляющих элементов целей и критериев решаемой проблемы. Оценка проблемы по большему числу критериев позволяет более подробно сформировать содержание проблемы, выявить ее элементы и выделить их взаимосвязи. Все это дает возможность четко определить и уточнить саму проблемную ситуацию, выявить иерархию взаимодействия элементов проблемы в виде некоторого дерева элементарных проблем и спрогнозировать их дальнейшие возможные изменения. Поэтому иное название данного метода — *метод анализа иерархий*.

В основе метода лежит принцип разбиения пространства критериев на структурные взаимосвязанные элементы и установления между ними системы приоритетов. Здесь используется преобразование качественных факторов, описывающих содержание задачи выбора и количественные характеристики, состоящее в общем случае из ряда стадий.

Первая стадия состоит в разработке иерархии задачи, которая включает выявление наиболее важных элементов иерархии, представляющих собой факторы, влияющие на принятие решений.

На *второй стадии* на этой основе определяется относительная важность каждого из элементов иерархии путем попарного сравнения их субъективных оценок.

Третья стадия заключается в сопоставлении оценок качества всех возможных альтернатив для каждого из элементов иерархии. Необходимо привести средства преобразования этих оценок в сопоставимый вид.

Данный метод может использоваться либо для ранжирования ограниченного числа альтернатив структурированных альтернатив, либо для разработки обобщенных оценок полезности (сложных целевых функций). Рассмотрению могут подлежать все существенные факторы — элементы связанной иерархии.

Принимая во внимание утверждение психологов, что человек не в состоянии воспринимать более семи факторов одновременно, предлагается в случае большого количества альтернатив группировать их по соответствующим уровням иерархии.

Рассматривая более подробно приведенные стадии преобразования качественных факторов (критериальных характеристик альтернатив), можно сформулировать методику решения задачи, которая включает в себя следующие этапы:

1. Формулировка генеральной цели (интегрального критерия).
2. Формирование перечня подцелей (пространства локальных критериев, отражающие суть задачи принятия решения).
3. Упорядочение целей (критериев) и формирование на пространстве критериев структуры в виде критериального дерева (дерева цели).
4. Установление границ критериальных показателей.
5. Установление коэффициентов относительной важности критериев для каждого уровня иерархии (структуры) дерева.
6. Разработка комплекса альтернатив, обеспечивающих достижение системной цели в рамках граничных значений сформулированных критериев.
7. Формирование интегральных коэффициентов по каждой альтернативе.
8. Формирование решающего правила для выбора рациональной альтернативы.
9. Выбор оптимальной альтернативы на основе заданных критериев при существующих функциях полезности альтернатив.
10. Определение стратегии реализации выбранной оптимальной альтернативы.

При анализе и структуризации критериального пространства обычно используют разные виды задания формальной структуры, которые достаточно подробно описаны в литературе по системному анализу¹: простая иерархия, сложная иерархия, звездообразная иерархия, кольцевая иерархия, холларгия, вложенные структуры и пр.

Рассмотрим некоторые структуры подробно.

1. Доминантные иерархии — древовидные структуры, изображение которых приведено на рис. 10.1.
2. Холларгические структуры представлены на рис. 10.2.
3. Вложенные структуры («китайский ящик»), представляющие разные уровни границ вложенных альтернатив (рис. 10.3).

Такие структуры представляют потенциальные возможности увеличения структуры от элементарной (внутренний элемент) к более сложным пробле-

¹Денисов А. А., Волкова В. Н. Иерархические системы. — Л.: Изд-во ЛПИ, 1989. 118 с.

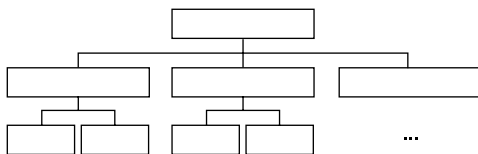


Рис. 10.1. Древоподобная структура

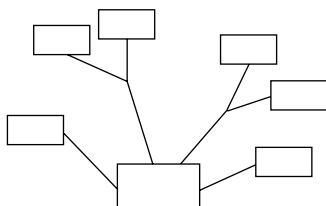


Рис. 10.2. Структура холларгического типа

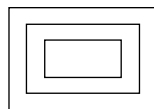


Рис. 10.3. Вложенные структуры

мам (промежуточная структура — средний квадрат) и совсем сложным (внешний квадрат).

Решая задачу принятия решения такого вида (типа **J12**), рассмотрим более подробно основное содержание приведенных выше этапов решения.

Этап формулировка генеральной цели (интегрального критерия) предполагает выработку наиболее обобщенной цели, относительно которой проводится решение задачи и формируются альтернативы выбора.

Этап формирования перечня подцелей (пространства локальных критериев, отражающие суть задачи принятия решения) дает возможность сформулировать для выделенной общей цели множество критериев, которые отражают различные важные и действенные аспекты проблемной ситуации, и провести структурное разбиение пространства критериев по выделенным аспектам (направлениям). Таким образом, на данном этапе формируется множество целей $(A_1, A_2, \dots, A_m)$, отражающих главную (интегральную) цель A , $A \subseteq (A_1, A_2, \dots, A_m)$. Каждая из выделенных целей описывается критериальными показателями k , $A_j = K_j \subseteq \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$. Тогда на множестве целей можно задать структуру (рис. 10.4).

Данная структура предполагает, что критерии $k_{11}, k_{21}, \dots, k_{m1}$ являются главными критериями по каждой цели выбора. Далее, например, в группу критерия k_{11} входят критерии $(k_{12}, \dots, k_{1n})$, имеющие один и тот же иерархический уровень, и т. д.

Иерархия считается полной, если элемент одного уровня является критерием нижестоящего уровня. Закон иерархической непрерывности требует, чтобы все элементы нижнего уровня были сравнимы попарно по отношению к элементам следующего уровня.

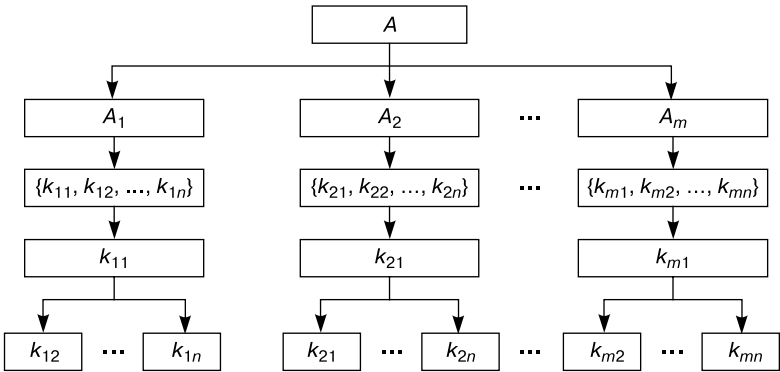


Рис. 10.4. Разбиение множества целей на структуру критериев

Для этого критерии каждого (и верхнего и нижнего) уровня, например нижнего $k_{12}, \dots, k_{1n}$, попарно сравниваются между собой в целях выявления степени важности критериев для данного уровня структуры. При этом используется метод парного сравнения и строится матрица парного сравнения. Матрица может быть основана на бинарных оценках (шкала 0, 1) или, для более точного представления приоритетов, десятичных оценках (лингвистическая шкала 0–9).

Если используется расширенная (лингвистическая) оценка, то измерение интенсивности свойств проводится по шкале, представленной в табл. 10.1.

Таблица 10.1. Лингвистическая шкала оценки приоритетов свойств

Относительная важность элемента в баллах	Определение важности	Пояснение к шкале
1	Равная важность элементов	Равный вклад двух элементов для достижения цели
3	Умеренное превосходство первого элемента над другим	Незначительное превосходство
5	Сильное превосходство	
7	Значительное превосходство	Практическое превосходство
9	Очень сильное превосходство	Очевидное превосходство

На этапе установления границ критериальных показателей дается оценка рамочных значений критериев, которым должны удовлетворять альтернативы, и проводится оценка приоритетов важности по каждому критерию данного уровня иерархии. Для этого используется принцип парного сравнения по приведенной шкале (табл. 10.1), на базе которого строится матрица парного сравнения (табл. 10.2).

Для того чтобы дать относительную оценку важности (w_{ij}) каждому компоненту матрицы попарного сравнения, последняя дополняется симметричными

Таблица 10.2. Матрица парного сравнения для цели A_1

Уровень 1	k_1			
Уровень 2	k_{11}	k_{12}	...	k_{1n}
K_{11}	1	3	...	7
...	...		...	...
K_{1n}	1/7		...	1

дробными оценками, которые обратно симметричны оценкам за верхней диагональю. Например, оценка приоритета между критериями k_{11} , k_{1n} , т. е. $w_{ij} = 7$. Таким образом, установлено, что критерий k_{11} значительно превосходит k_{1n} . Тогда в обратной строке, характеризующей обратное значение приоритета (критерий k_{1n} значительно не превосходит k_{11}), $w_{ij} = 1/7$.

На этапе установления коэффициентов относительной важности критериев для каждого уровня иерархии (структуры) дерева из группы матриц парных сравнений формируют набор локальных приоритетов.

Для этого предусмотрен специальный алгоритм.

1. Рассчитывают компонент собственного вектора для каждой строки матрицы:

$$a_i = \sqrt[n]{\frac{w_i}{w_1} \times \frac{w_i}{w_2} \times \dots \times \frac{w_i}{w_n}}. \quad (10.1)$$

2. Находят сумму собственных векторов.

3. Нормализуют результат попарного сравнения для получения оценки вектора приоритетов:

$$x_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i}. \quad (10.2)$$

4. Умножают матрицу парных сравнений на вектор приоритетов для получения вектора локальных приоритетов:

$$y_i = \frac{w_i}{w_1} \times x_1 + \frac{w_i}{w_2} \times x_2 + \dots + \frac{w_i}{w_n} \times x_n. \quad (10.3)$$

При этом чем выше вектор локальных приоритетов, тем больше значим критерий.

На шестом этапе разрабатывают комплекс альтернатив, обеспечивающих достижение системной цели в рамках граничных значений сформулированных критериев, проводят формирование и выработку допустимого множества вариантов решения, которые могут привести задачу к рациональному выбору. Методы формирования вариантов рассмотрены ранее (раздел 1).

Седьмой этап — формирование интегральных коэффициентов по каждой альтернативе позволяет рассчитать обобщенный коэффициент согласованности локальных приоритетов. Данный этап проводится в несколько шагов:

а) суммируют значение каждого столбца матрицы суждений;

- б) сумму первого столбца умножают на величину первого компонента нормализованного вектора, соответствующего сумме второго столбца, умноженного на второй компонент, и т. д. Полученные результаты складывают и получают значение согласованности $\lambda_{\max}$;
- в) на основании полученных значений рассчитывают индекс согласованности суждений:

$$U_c = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (10.4)$$

где n — число сравниваемых элементов;

- г) сравнивают величину U_c с величиной случайного выбора количественных суждений:

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение случайной согласованности (CC)	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,42	1,49

- д) рассчитывают отношение согласованности приоритетов:

$$OC = \frac{U_c}{CC} \times 100\%. \quad (10.5)$$

Таким образом, величина согласованности всегда должна быть ниже 10%, в некоторых случаях — до 20% (когда мало данных).

На этапе формирования решающего правила для выбора рациональной альтернативы (восьмом) проводится синтез обобщенных приоритетов. Для этого рассчитывается так называемый глобальный приоритет. Значения векторов локальных приоритетов соответствующих критериев первого уровня умножают на значения векторов приоритетов следующего (второго) уровня и полученные результаты складывают по каждой строке.

Аналогичные процедуры используются для определения относительных весов элементов каждого уровня иерархии критериев выбора.

Обобщенная функция глобального приоритета, которая и определяет решающее правило выбора с учетом обобщенных приоритетов критериев, будет выглядеть следующим образом:

$$Y \Leftrightarrow (a \times k_{11} + b \times k_{12} + \dots + c \times k_{1n} + d \times k_{21} + e \times k_{22} + \dots + f \times k_{2n} + \dots + g \times k_{m1} + h \times k_{m2} + \dots + z \times k_{mn}). \quad (10.6)$$

Полученные локальные приоритеты работы взвешиваются по значимости факторов, т. е. каждый столбец векторов локальных приоритетов умножается на приоритет соответствующего фактора и результаты складываются.

На следующем (девятом) этапе на основании правила выбора проводится оценка каждой из альтернатив выбора и формируется обобщенное правило выбора по допустимому множеству альтернатив.

Для этого следует провести парное сравнение сформулированных допустимых альтернатив по каждому критерию из критериального множества с учетом правила оценки обобщенного приоритета (8.2).

На основании полученных значений приоритетов строится вектор обобщенных приоритетов выбора по исследуемым альтернативам. Решающее правило будет выглядеть следующим образом:

$$Y^* \Leftrightarrow (\alpha \times Y_1 + \beta \times Y_2 + \dots + \tau \times Y_m), \quad (10.7)$$

где наилучшим решением будет то, которое имеет наибольшее значение глобального приоритета, т. е. правило выбора определяется так:

$$Y^* \mapsto \max_Y [\alpha, \beta, \dots, \tau]. \quad (10.8)$$

10.2. Решение задач методом анализа иерархии

Для решения задач данного вида используется методика, приведенная выше. Рассмотрим пример решения задачи такого типа.

Пример 10.1.

Постановка задачи. Выбрать наиболее приемлемый для предприятия вариант формирования стратегии повышения качества продукции по критериям, ориентированным на потребительские предпочтения. В качестве критериального пространства выбора используются следующие:

1. Цена сырья.
2. Количество сырья.
3. Условия поставки сырья.
4. Качество сырья.
5. Оборудование и инструменты.
6. Методы обработки продукции.
7. Персонал (управленческий, вспомогательный, основной).
8. Управление производством.
9. Доставка.
10. Система снабжения.

Для упрощения решения необходимо систематизировать данные критериальные факторы по группам, охватывающим однородные элементы, организованные в некоторые иерархические классы. Выделим в исходной совокупности критериев группы параметров, оценивающих качество:

- сырья;
- технологии;
- персонала;
- процессов управления.

Классификация групп и их состав приведены на рис. 10.5.

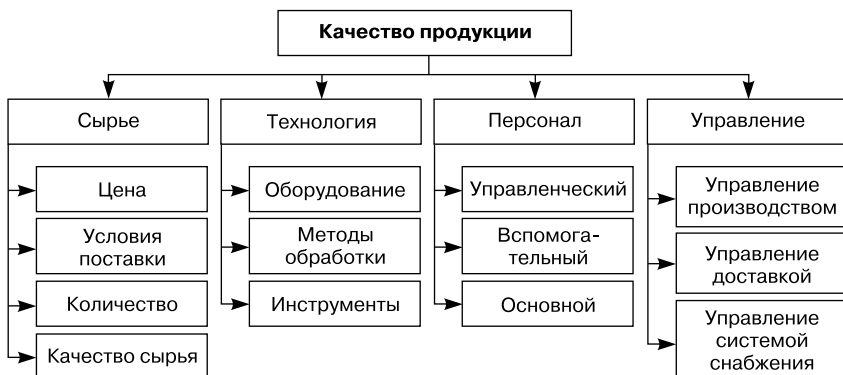


Рис. 10.5. Структура глобального критерия оценки альтернатив (качество продукции)

Структура пространства альтернатив представляет собой дерево, состоящее из трех уровней:

- общая полезность альтернативы стратегии управления качеством — первый уровень;
- групповые критерии, отражающие отдельные направления увеличения качества продукции (качество сырья, качество технологии, качество персонала, качество менеджмента (управления)) — второй уровень;
- локальные критерии, отражающие критериальные показатели по каждой группе факторов качества — третий уровень.

Процедура сравнения выполняется для каждой ветви иерархии представленного дерева альтернатив. Для парного сравнения критериев строим матрицы оценки альтернатив по каждой ветви дерева альтернатив. То есть строим матрицы парных сравнений из четырех элементов второго уровня и четыре матрицы с различным числом элементов — для третьего уровня иерархии.

Для решения проблемы были сформулированы возможные альтернативы стратегии повышения качества продукции.

1. **Использование технологии ноу-хау (Y_1).** Характеристика: использование новых усовершенствованных технологий (уникальное оборудование, требующее специальных знаний основного и вспомогательного персонала).
2. **Модернизация производства (Y_2).** Характеристика: изменение части инструментов, изменение состава и структуры сырья, переподготовка кадров (основного и вспомогательного персонала), совершенствование управления доставкой и технологией.

3. Модернизация организационной структуры (Y_3). Характеристика: максимальная реструктуризация всего персонала и способа управления, минимальное изменение технологии и сырья.

Далее необходимо сформулировать оценку относительной важности факторов на каждом уровне иерархии. Это осуществляется при использовании метода парных сравнений субъективных суждений, отражающих оценку важности факторов в соответствии с критериями выбора. Для оценки важности факторов используем лингвистическую шкалу, приведенную в табл. 10.3, но будем использовать ее только в случае, когда выявлены общие приоритеты по двоичной шкале.

Таблица 10.3. Шкала относительной важности для проведения парных сравнений

Уровень	Содержание уровня оценки
1	Приблизительно равная важность факторов
3	Умеренное превосходство одного фактора над другим
5	Существенное превосходство одного фактора над другим
7	Значительное превосходство одного фактора над другим
9	Подавляющее превосходство одного фактора над другим

Оценим приоритеты самих групп с использованием структуры критериальных факторов, для чего воспользуемся матрицей парных сравнений. В табл. 10.4 приведена матрица парных сравнений групповых факторов, оцениваемых по двоичной шкале с использованием правила оценки приоритета: если фактор $F_i \succ F_j$, то выставляем оценку 1, иначе — 0.

Таблица 10.4. Матрица парного сравнения (обобщенные приоритеты по бинарной шкале)

Уровень 1	Полезность			
Уровень 2	Сырье	Технология	Персонал	Управление
Сырье	1	1	1	1
Технология		1	1	1
Персонал			1	1
Управление				1

В данной таблице ЛПР, проводящее оценку и выбор решения, представляет качественные оценки приоритетов в виде простого (бинарного) предпочтения. Для более эффективной оценки и уточнения приоритетов сравнения необходимо задать интенсивность предпочтения, относительная важность которой может быть оценена на основании шкалы важности (табл. 10.3). С учетом степени относительной важности по приоритетам табл. 10.4 построим матрицу, взвешенную по интенсивности приоритета (лингвистической шкале) (табл. 10.5).

Таким образом, мы получили интенсивности приоритетов. Качество по сырью имеет умеренное превосходство над качеством по технологии (степень

Таблица 10.5. Матрица парного сравнения (оценка степени интенсивности приоритета)

Уровень 1	Полезность			
Уровень 2	Сырье	Технология	Персонал	Управление
Сырье	1	3	7	5
Технология		1	5	3
Персонал			1	9
Управление				1

приоритета 3). В системе управления качеством фактор качественного сырья значительно превосходит фактор «Персонал» и существенно — фактор «Управление».

Для того чтобы дать относительную оценку важности каждому компоненту матрицы парных сравнений, последнюю дополним симметричными дробными оценками, как это представлено в табл. 10.6.

Таблица 10.6. Относительная оценка важности групповых критериев

Уровень 1	Полезность			
Уровень 2	Сырье	Технология	Персонал	Управление
Сырье	1	3	7	5
Технология	1/3	1	5	3
Персонал	1/7	1/7	1	9
Управление	1/5	1/5	1/5	1

Преобразуем оценки в десятичные дроби и находим суммарные значения приоритетов по графе для задания более удобной относительной шкалы оценки приоритетов (табл. 10.7).

Таблица 10.7. Обобщенная таблица приоритетов

	Полная матрица			
	Сырье	Технология	Персонал	Управление
Сырье	1,000	3,000	7,000	5,000
Технология	0,333	1,000	5,000	3,000
Персонал	0,143	0,143	1,000	9,000
Управление	0,200	0,200	0,200	1,000
Итого:	1,676	4,343	13,200	18,000

Усредняя полученные значения по строкам, мы можем определить значения локальных приоритетов, в сумме дающих вектор локальных приоритетов, значения которых приведены в нормализованной матрице (табл. 10.8).

Таким образом, вектор локальных приоритетов, полученный на основе средних значений и характеризующий решающее правило выбора групповых факторов, будет иметь вид:

Таблица 10.8. Обобщенная таблица приоритетов со средними значениями

	Полная матрица				Среднее по строке
	Сырье	Технология	Персонал	Управление	
Сырье	0,5966	0,6908	0,5303	0,2778	0,5239
Технология	0,1989	0,2303	0,3788	0,1667	0,2436
Персонал	0,0852	0,0329	0,0758	0,5000	0,1735
Управление	0,1193	0,0461	0,0152	0,0556	0,0590

0,5239 (сырье) + 0,2436 (технология) + 0,1735 (персонал) + 0,0590 (управление).

Оценка важности каждого из групповых критериев определяется следующими значениями (табл. 10.9).

Таблица 10.9. Оценки приоритетов групповых критериев

Сырье	0,5239
Технология	0,2436
Персонал	0,1735
Управление	0,0590

Таким образом, мы определили относительную важность, которую каждая группа обобщенных факторов вносит в процесс повышения качества продукции. Если теперь в каждую группу подставить локальные значения каждого составляющего критерия, то можно вычислить важность каждой стратегии в целом и сформулировать ее вклад в эффективность повышения продукции. То есть нам необходимо оценить локальные предпочтения критериев, входящих в каждую группу обобщенных факторов. Структура факторов представлена на рис. 10.3.

Анализ предпочтений и приоритетов локальных критериев по фактору «Сырье». Для исследования проведем аналогичные процедуры для определения относительных весов следующих элементов иерархии: цена, условия поставки, количество и качество сырья, с тем чтобы определить вектор локальных приоритетов с учетом подчинения фактору «Сырье».

Обобщенные приоритеты по бинарным (двоичным) оценкам приведены в табл. 10.10, взвешенные по относительной важности — в табл. 10.11, 10.12, нормализованная матрица приоритетов — в табл. 10.13.

Таблица 10.10. Матрица парного сравнения (обобщенные приоритеты)

Уровень 1	Сырье			
Уровень 2	Цена	Условия поставки	Количество	Качество сырья
Качество сырья	1	1	1	1
Цена		1	1	1
Условия поставки			1	1
Количество				1

Таблица 10.11. Матрица парного сравнения (обобщенные приоритеты)

Уровень 1	Сырье			
Уровень 2	Цена	Условия поставки	Количество	Качество сырья
Качество сырья	1	9	5	1
Цена		1	7	7
Условия поставки			1	3
Количество				1

Таблица 10.12. Обобщенная таблица приоритетов по группе «Сырье»

	Полная матрица			
	Цена	Условия поставки	Количество	Качество сырья
Качество сырья	1,0000	9,0000	5,0000	1,0000
Цена	0,1111	1,0000	7,0000	7,0000
Условия поставки	0,2000	0,2000	1,0000	3,0000
Количество	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Итого:	2,311	11,200	14,000	12,000

Таблица 10.13. Нормализованная матрица приоритетов

	Нормализованная матрица				Среднее по строке
	Цена	Условия поставки	Количество	Качество сырья	
Качество сырья	0,4327	0,8036	0,3571	0,0833	0,4192
Цена	0,0481	0,0893	0,5000	0,5833	0,3052
Условия поставки	0,0865	0,0179	0,0714	0,2500	0,1065
Количество	0,4327	0,0893	0,0714	0,0833	0,1692

Вектор локальных приоритетов будет иметь вид

$$0,4192 \text{ (качество сырья)} + 0,3052 \text{ (цена)} + 0,1065 \text{ (условия поставки)} + 0,1692 \text{ (количество)}.$$

Далее необходимо вычислить взвешенные по групповому фактору приоритеты локальных критериев. Для этого надо умножить приоритет локального фактора на групповую оценку.

Вычисляем значения взвешенных по группе приоритетов:

$$A = 0,5239 \times 0,4192 = 0,219596;$$

$$B = 0,5239 \times 0,3052 = 0,159881;$$

$$C = 0,5239 \times 0,1065 = 0,055772;$$

$$D = 0,5239 \times 0,1692 = 0,088636.$$

Проведем аналогичные процедуры для определения относительных весов следующих элементов иерархии (качество технологии).

Обобщенные приоритеты по бинарным (двоичным) оценкам приведены в табл. 10.14, взвешенные по относительной важности — в табл. 10.15–10.16, нормализованная матрица приоритетов — в табл. 10.17.

Таблица 10.14. Матрица парного сравнения по группе критериев «Технология»

Уровень 1	Технология		
Уровень 2	Оборудование	Методы обработки	Инструменты
Оборудование	1	1	1
Методы обработки		1	1
Инструменты			1

Таблица 10.15. Относительная оценка важности по группе критериев «Технология»

Уровень 1	Технология		
Уровень 2	Оборудование	Методы обработки	Инструменты
Оборудование	1	7	1
Методы обработки		1	7
Инструменты			1

Таблица 10.16. Относительная оценка важности по группе критериев «Технология»

Уровень 1	Технология		
Уровень 2	Оборудование	Методы обработки	Инструменты
Оборудование	1,0000	7,0000	1,0000
Методы обработки	0,1429	1,0000	7,0000
Инструменты	1,0000	1,0000	1,0000
Итого:	2,1429	9,0000	9,0000

Таблица 10.17. Нормализованная матрица приоритетов по группе критериев «Технология»

	Нормализованная матрица			Среднее по строке
	Оборудование	Методы обработки	Инструменты	
Оборудование	0,4667	0,7778	0,1111	0,3389
Методы обработки	0,0667	0,1111	0,7778	0,2389
Инструменты	0,4667	0,1111	0,1111	0,1722

Вектор локальных приоритетов будет иметь вид:

0,3389 (оборудование) + 0,2389 (методы обработки) + 0,1722 (инструменты).

Вычисляем значение взвешенных по групповому фактору (технология) приоритетов:

$$E = 0,2436 \times 0,3389 = 0,082556;$$

$$F = 0,2436 \times 0,2389 = 0,058196;$$

$$G = 0,2436 \times 0,1722 = 0,041948.$$

Проведем аналогичные процедуры для определения относительных весов следующих элементов иерархии (персонал).

Обобщенные приоритеты по бинарным (двоичным) оценкам приведены в табл. 10.18, взвешенные по относительной важности — в табл. 10.19, нормализованная матрица приоритетов — в табл. 10.20.

Таблица 10.18. Относительная оценка важности по группе критериев «Персонал»

Уровень 1	Персонал		
Уровень 2	Управленческий	Вспомогательный	Основной
Управленческий	1	1	1
Вспомогательный		1	1
Основной			1

Таблица 10.19. Относительная оценка важности по группе критериев «Персонал»

Уровень 1	Персонал		
Уровень 2	Управленческий	Вспомогательный	Основной
Управленческий	1,0000	9,0000	8,0000
Вспомогательный	0,1111	1,0000	9,0000
Основной	0,1250	0,1250	1,0000
Итого:	1,2361	10,1250	18,0000

Таблица 10.20. Нормализованная матрица приоритетов по группе критериев «Персонал»

	Нормализованная матрица			Среднее по строке
	Управленческий	Вспомогательный	Основной	
Управленческий	0,8090	0,8889	0,4444	0,5356
Вспомогательный	0,0899	0,0988	0,5000	0,1722
Основной	0,1011	0,0123	0,0556	0,0423

Вектор локальных приоритетов будет иметь вид:

0,5356 (управленческий) + 0,1722 (вспомогательный) + 0,0423 (основной).

Вычисляем значение взвешенных по группе (персонал) приоритетов:

$$H = 0,1735 \times 0,5356 = 0,092927;$$

$$I = 0,1735 \times 0,1722 = 0,029877;$$

$$J = 0,1735 \times 0,0423 = 0,007339.$$

Проведем аналогичные процедуры для определения относительных весов следующих элементов иерархии (управление).

Обобщенные приоритеты по бинарным (двоичным) оценкам приведены в табл. 10.21, взвешенные по относительной важности — в табл. 10.22, нормализованная матрица приоритетов — в табл. 10.23.

Таблица 10.21. Относительная оценка важности по группе критериев «Управление»

Уровень 1	Управление		
Уровень 2	Управление персоналом	Управление доставкой	Управление системой снабжения
Управление персоналом	1	1	1
Управление доставкой		1	1
Управление системой снабжения			1

Таблица 10.22. Обобщенная таблица приоритетов по группе критериев «Управление»

	Полная матрица		
	Управление персоналом	Управление доставкой	Управление системой снабжения
Управление персоналом	1,0000	8,0000	8,0000
Управление доставкой	0,1250	1,0000	7,0000
Управление системой снабжения	0,1250	0,1250	1,0000
Итого:	1,2500	9,1250	16,0000

Таблица 10.23. Нормализованная матрица приоритетов по группе критериев «Управление»

	Нормализованная матрица			Среднее по строке
	Управление персоналом	Управление доставкой	Управление системой снабжения	
Управление персоналом	0,8000	0,8767	0,5000	0,5442
Управление доставкой	0,1000	0,1096	0,4375	0,1618
Управление системой снабжения	0,1000	0,0137	0,0625	0,0440

Вектор локальных приоритетов будет иметь вид:

$$0,5442 \text{ (управление персоналом)} + 0,1618 \text{ (управление доставкой)} + 0,0440 \text{ (управление системой снабжения)}.$$

Вычисляем значение взвешенных по группе (управление) приоритетов:

$$E = 0,0590 \times 0,5442 = 0,032108;$$

$$F = 0,0590 \times 0,1618 = 0,009546;$$

$$G = 0,0590 \times 0,0440 = 0,002596.$$

Тогда **обобщенное решающее правило**, включающее все локальные критерии эффективности и их степени важности по предпочтениям, примет следующий вид:

Стратегия совершенствования качества продукции = 0,2196 *Качество сырья* + 0,1599 *Цена* + 0,0558 *Условия поставки* + 0,0886 *Количество* + 0,0826 *Оборудование* + 0,0582 *Методы обработки* + 0,0419 *Инструменты* + 0,0929 *Управленческий персонал* + 0,0299 *Вспомогательный персонал* + 0,0073 *Основной персонал* + 0,0321 *Управление персоналом* + 0,0095 *Управление доставкой* + 0,0026 *Управление системой снабжения*.

Данное решающее правило позволяет сформулировать приоритеты при выборе альтернатив. В этой связи необходимо рассмотреть конкретные стратегии и меры по достижению конкретной цели, а именно — улучшение качества продукции.

Необходимо исследовать и рассмотреть три заданные альтернативы $Y_1 - Y_3$ и выбрать наилучшую.

Определим приоритеты каждого варианта по каждой отдельной цели без учета важности критериев. Обозначим альтернативы цифрами 1, 2, 3.

Для оценки обобщенного приоритета альтернатив воспользуемся представленной методикой оценки альтернатив по бинарной схеме, а затем сформируем степень важности каждой приоритетной позиции в виде среднего приоритета.

Выбранные альтернативы взвешиваются по значимости факторов. Необходимо построить 13 локальных матриц попарного сравнения (в соответствии с количеством факторов третьего уровня). Размерность этих матриц определяется количеством рассматриваемых альтернатив 1, 2, 3. В каждой из этих матриц отражаются суждения о предпочтениях того или иного варианта относительно факторов и формируется среднее значение альтернатив по критерию выбора.

Данные в виде группы локальных матриц представлены в табл. 10.24.

Таблица 10.24. Матрица глобальных приоритетов по альтернативам

Цена	1	2	3	Приоритет
1	1	1/7	1/9	0,0553
2	7	1	1/6	0,2274
3	9	6	1	0,7173
	17	$7\frac{1}{7}$	$1\frac{2}{7}$	
Условия поставки	1	2	3	Приоритет
1	1	1/5	1/4	0,1018
2	5	1	1/3	0,3162
3	4	3	1	0,5820
	10	$4\frac{1}{5}$	$1\frac{4}{7}$	
Количество	1	2	3	Приоритет
1	1	1/8	1/7	0,0630
2	8	1	1/6	0,2559
3	7	6	1	0,6811
	16	$7\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{3}$	
Качество	1	2	3	Приоритет
1	1	1/5	1/6	0,0798
2	5	1	1/4	0,2618
3	6	4	1	0,6584
	12	$5\frac{1}{5}$	$1\frac{2}{5}$	
Оборудование	1	2	3	Приоритет
1	1	1/3	1/7	0,0818
2	3	1	1/6	0,1788
3	7	6	1	0,7394
	11	$7\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{3}$	
Методы обработки	1	2	3	Приоритет
1	1	1/3	1/9	0,0685
2	3	1	1/7	0,1549

Таблица 10.24 (продолжение)

3	9	7	1	0,7766
	13	$8\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{4}$	
Инструменты	1	2	3	Приоритет
1	1	$1/5$	$1/9$	0,0599
2	5	1	$1/7$	0,1897
3	9	7	1	0,7504
	15	$8\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{4}$	
Управленческий персонал	1	2	3	Приоритет
1	1	$1/7$	$1/5$	0,0812
2	7	1	$1/9$	0,2406
3	5	9	1	0,6782
	13	$10\frac{1}{7}$	$1\frac{1}{3}$	
Вспомогательный персонал	1	2	3	Приоритет
1	1	$1/5$	$1/4$	0,1018
2	5	1	$1/3$	0,3162
3	4	3	1	0,5820
	10	$4\frac{1}{5}$	$1\frac{4}{7}$	
Основной персонал	1	2	3	Приоритет
1	1	$1/5$	$1/7$	0,0738
2	5	1	$1/3$	0,2828
3	7	3	1	0,6434
	13	$4\frac{1}{5}$	$1\frac{1}{2}$	
Управление производством	1	2	3	Приоритет
1	1	$1/7$	$1/5$	0,0811
2	7	1	$1/7$	0,2559
3	5	7	1	0,6630
	13	$8\frac{1}{7}$	$1\frac{1}{3}$	
Управление доставкой	1	2	3	Приоритет
1	1	$1/7$	$1/4$	0,0935
2	7	1	$1/7$	0,2696
3	4	7	1	0,6370
	12	$8\frac{1}{7}$	$1\frac{2}{5}$	
Управление системой снабжения	1	2	3	Приоритет
1	1	$1/5$	$1/4$	0,1018
2	5	1	$1/3$	0,3162
3	4	3	1	0,5820
	10	$4\frac{1}{5}$	$1\frac{4}{7}$	

Заключительный расчет по обобщенному решающему правилу по оценке приоритетов альтернатив приведен в табл. 10.25.

Таблица 10.25. Расчет общего приоритета альтернатив

№ п/п	Критерий	Важность критериев	Приоритеты альтернатив		
			Y_1	Y_2	Y_3
1	Цена	0,2196	0,0553	0,2274	0,7173
2	Условия поставки	0,1599	0,1018	0,3162	0,5820
3	Количество	0,0558	0,0630	0,2559	0,6811
4	Качество сырья	0,0886	0,0798	0,2618	0,6584
5	Оборудование	0,0826	0,0818	0,1788	0,7394
6	Методы обработки	0,0582	0,0685	0,1549	0,7766
7	Инструменты	0,0419	0,0599	0,1887	0,7504
8	Управленческий персонал	0,0929	0,0812	0,2406	0,6782
9	Вспомогательный персонал	0,0299	0,1018	0,3162	0,5820
10	Основной персонал	0,0073	0,0738	0,2828	0,6434
11	Управление персоналом	0,0321	0,0811	0,2559	0,6630
12	Управление доставкой	0,0095	0,0935	0,2696	0,6370
13	Управление системой снабжения	0,0026	0,1018	0,3162	0,5820
	ИТОГО		1,0433	3,2650	8,6908

Как видно из данной таблицы, приоритеты альтернатив имеют следующую схему:

$$Y_3 \succ Y_2 \succ Y_1,$$

таким образом, альтернатива Y_3 является наилучшей при данных ограничениях и условиях развития предприятия.

Глава 11. ПРИМЕРЫ КОМПЬЮТЕРНОГО РЕШЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

11.1. Применение методов оптимизма, пессимизма, Гурвица, Сэвиджа

Рассмотрим решение простых многокритериальных задач (индивидуальный выбор в условиях полной определенности) принятия решений, встречающихся в практике управления экономическими системами. Ввиду большого количества критериев и вариантов выбора целесообразно применять компьютерные методы решения, которые мы здесь и изложим.

Приведем компьютерное решение задачи выбора указанными методами.

Пример 11.1. Постановка задачи. Выбрать для розничной продажи наилучшую модель сотового телефона из предлагаемых оптовым поставщиком. Для выбора телефона-лидера некоторого сегмента сформулированы несколько целевых критериев, которые выявлены при опросе в качестве предпочтений выбора покупателей. К ним можно отнести:

- цену K_1 , тыс. руб.;
- память телефона, K_2 , Мб;
- время работы аккумулятора в режиме разговора K_3 , ч.

В качестве альтернативных вариантов сформировано допустимое множество следующих моделей (производителей) телефонов: *Nokia* (Y_1), *Samsung* (Y_2), *Siemens* (Y_3), *Motorola* (Y_4).

Анализ функций полезности альтернатив по каждому критерию позволил сформулировать матрицу исходных данных (табл. 11.1). Исходные данные представлены экспертами в балльном виде и отражают оценку абсолютных значений критериальных функций. Рассмотрим решение задачи различными методами: максимина, оптимизма, Гурвица, Сэвиджа.

Таблица. 11.1. Таблица исходных данных по задаче

Альтернативы решения	Критерии (цели)		
	K_1	K_2	K_3
Y_1	6	23	6,5
Y_2	5	32	5,5
Y_3	4	20	5
Y_4	3	17	4

1. В соответствии с *принципом гарантированного результата (максимина)* проведем решение, которое отражено в табл. 11.2. Строим таблицу данных в блоке ячеек **A3 : D8**. В соответствии с данным принципом задача решается в 2 этапа.

На *первом этапе* проводятся поиск и выбор минимальных по полезности значений критериев. Для этого строится графа «**Min** U_{ij} », в которой и формируется результат.

На *втором этапе* среди минимальных значений ищется наибольшее по полезности значение критерия. Для этого строится дополнительная строка «**max**», в которой проводится выбор максимального значения из графы «**Min** U_{ij} ».

Таблица 11.2. Матрица выбора по принципу максимина (гарантированного результата)

Альтернативы	Критерии (цели)			$\min U_{ij}$
	K_1	K_2	K_3	
Y_1	6	23	6,5	6
Y_2	5	32	5,5	5
Y_3	4	20	5	4
Y_4	3	17	4	3
max				6

Алгоритм реализации по принципу максимина представлен в табл. 11.3, которая строится в блоке ячеек **A11 : E18**.

Таблица 11.3. Алгоритм расчета данных по принципу максимина (гарантированного результата)

Альтернативы	Критерии (цели)			$\min U_{ij}$
	K_1	K_2	K_3	
Y_1	6	23	6,5	=МИН(B14:D14)
Y_2	5	32	5,5	=МИН(B15:D15)
Y_3	4	20	5	=МИН(B16:D16)
Y_4	3	17	4	=МИН(B17:D17)
max				=МАКС(E14:E17)

Таким образом, максимальной из существующих минимальных значений функции полезности является значение, равное 6, которое соответствует первой альтернативе. То есть оптимальной (по критерию максимина) является альтернатива Y_1 .

2. Рассмотрим решение задачи по *принципу максимина (оптимизма)*.

Приведем решение, которое отражено в табл. 11.4. Строим таблицу решения в блоке ячеек **A22 : E28**. В соответствии с данным принципом задача также решается в 2 этапа.

На *первом этапе* проводится поиск и выбор максимальных по полезности значений критериев. Для этого строится графа «**Max** U_{ij} », в которой и формируется результат.

На *втором этапе* среди максимальных значений ищется наибольшее по полезности значение критерия. Для этого строится дополнительная строка «**max**», в которой проводится выбор максимального значения из графы «**Max U_{ij}** ».

Таблица 11.4. Матрица выбора по принципу оптимизма

Альтернативы	Критерии (цели)			$\max U_{ij}$
	K_1	K_2	K_3	
Y_1	6	23	6,5	23
Y_2	5	32	5,5	32
Y_3	4	20	5	20
Y_4	3	17	4	17
max				32

Алгоритм реализации данного принципа представлен в табл. 11.5, которая строится в блоке ячеек **A22 : E28**.

Таблица 11.5. Алгоритм расчета показателей выбора по принципу оптимизма

Альтернативы	Критерии (цели)			$\max U_{ij}$
	K_1	K_2	K_3	
Y_1	6	23	6,5	=МАКС(B24:D24)
Y_2	5	32	5,5	=МАКС(B25:D25)
Y_3	4	20	5	=МАКС(B26:D26)
Y_4	3	17	4	=МАКС(B27:D27)
max				=МАКС(E24:E27)

Используя стратегию оптимизма, выбираем из существующих максимальных значений функции полезности максимальную по полезности. В нашем случае максимальным является значение, равное 32, которое соответствует второй альтернативе. Таким образом, оптимальной (по критерию оптимизма) является альтернатива Y_2 .

Электронная таблица решения задачи в соответствии с указанными принципами приведена на рис. 11.1, на рис. 11.2 показана ЭТ с алгоритмами расчета решения задачи.

Таким образом, принцип оптимизма заключается в выборе в качестве наиболее эффективной той альтернативы (варианта решения), которая имеет наибольшее из наибольших по всем альтернативам значение функции полезности или фактора, т. е. принцип оптимизма (по правилу «лучший из лучших») учитывает возможность получения максимального уровня желательности.

3. Рассмотрим решение задачи по *принципу Гурвица (комбинированному)*.

Для принципа выбора Гурвица характерно использование взвешенных значений принципа гарантированного результата (пессимизма) и принципа опти-

Рис. 11.1. Таблицы решения задачи выбора в соответствии с принципами пессимизма и оптимизма

Рис. 11.2. Алгоритм решения задач выбора по указанным принципам

мизма. Здесь каждая стратегия характеризуется своим коэффициентом важности стратегии $\alpha, \beta = [0, 1]$.

Приведем решение в соответствии с данным принципом, которое отражено в табл. 11.6. Строим таблицу решения в блоке ячеек **A32 : H39**. В соответствии с данным принципом задача также решается в несколько этапов.

На *первом этапе* проводится поиск и выбор оптимального варианта в соответствии с принципом гарантированного результата. Для этого дополнительно к исходным данным строится графа «**Min U_{ij}** » и строка «**max**», в которой и формируется результат данной стратегии выбора.

На *втором этапе* проводится поиск и выбор оптимального варианта в соответствии с принципом оптимизма — среди максимальных значений ищем наибольшее по полезности значение критерия. Для этого строится дополнительная графа «**Max U_{ij}** » и строка «**max**», в которой проводится выбор максимального значения из графы «**Max U_{ij}** ».

На *третьем этапе* проводится выбор по комбинированной стратегии выбора Гурвица:

$$f(Y^*) = \max [\alpha(\min U_{ij}^1) + (1 - \alpha) \cdot (\max U_{ij}^2)], \quad (11.1)$$

где U_{ij} — функция полезности альтернатив.

Для этого строим дополнительную графу вычисления значений и ячеек, в которую вводим значение весового коэффициента α . Выбираем значение $\alpha = 0,5$. Общая структура матрицы выбора по принципу Гурвица приводится в табл. 11.6.

Таблица 11.6. Матрица решения по принципу Гурвица

Альтернативы	Критерии (цели)			$\min U_{ij}$	$\max U_{ij}$	Значение функции предпочтения Гурвица	Весовой коэффициент, α
	K_1	K_2	K_3				
Y_1	6	23	6,5	6	23	14,5	0,5
Y_2	5	32	5,5	5	32	18,5	0,5
Y_3	4	20	5	4	20	12	0,5
Y_4	3	17	4	3	17	10	0,5
max	6	32	6,5	6		18,5	

Алгоритм реализации данного принципа (табл. 11.6) представлен в табл. 11.7, которая строится в блоке ячеек **A32 : H38**.

Результатом решения является значение функции полезности, равное 18,5. Оптимальной (по комбинированному принципу Гурвица) будет альтернатива Y_2 , значение функции полезности которой и равно 18,5.

4. Рассмотрим решение задачи по *принципу Сэвиджа (минимаксного сожаления)*.

Стратегия выбора, основанная на использовании стратегии Сэвиджа, характеризуется теми потенциальными потерями, которые ЛПР может понести,

Таблица 11.7. Алгоритм расчета показателей выбора по принципу Гурвица

Альтернативы	Критерии (цели)			$\min U_{ij}$	$\max U_{ij}$	Значение функции предпочтения Гурвица	Весовой коэффициент, α
	K_1	K_2	K_3				
Y_1	6	23	6,5	=МИН (B34:D34)	=МАКС (C34:E34)	=H34×E34+ (1-H34)×F34	0,5
Y_2	5	32	5,5	=МИН (B35:D35)	=МАКС (C35:E35)	=H35×E35+ (1-H35)×F35	0,5
Y_3	4	20	5	=МИН (B36:D36)	=МАКС (C36:E36)	=H36×E36+ (1-H36)×F36	0,5
Y_4	3	17	4	=МИН (B37:D37)	=МАКС (C37:E37)	=H37×E37+ (1-H37)×F37	0,5
max	=МАКС (B34:B37)	=МАКС (C34:C37)	=МАКС (D34:D37)	=МАКС (E34:E37)		=МАКС (G34:G37)	

если выберет неоптимальное решение. Процедура выбора обычно происходит в три этапа и строится на вычислении промежуточного показателя функции потерь (w) на базе имеющихся для каждой альтернативы функции полезности (U_{ij}). На основании матрицы потерь можно определить максимальные потери по каждой альтернативе. Оптимальной будет та альтернатива, которая имеет минимальные потери. Стратегия выбора определяется соотношением

$$f(Y^*) = \min [\max w(Y_{ij})]. \quad (11.2)$$

Приведем решение в соответствии с данным принципом (табл. 11.8). Строим таблицу решения в блоке ячеек **A43 : D49**.

Таблица 11.8. Исходные данные для решения по принципу Сэвиджа

Альтернативы	Критерии (цели)		
	K_1	K_2	K_3
Y_1	6	23	6,5
Y_2	5	32	5,5
Y_3	4	20	5
Y_4	3	17	4
max	6	32	6,5

Алгоритм построения данной матрицы приведен в табл. 11.9.

В соответствии с данным принципом задача также решается в несколько шагов.

Таблица 11.9. Алгоритм построения структуры матрицы и выбора максимальных по полезности значений критериев

Альтернативы	Критерии (цели)		
	K_1	K_2	K_3
Y_1	6	23	6,5
Y_2	5	32	5,5
Y_3	4	20	5
Y_4	3	17	4
max	=МАКС(B45:B48)	=МАКС(C45:C48)	=МАКС(D45:D48)

На *первом шаге* проводится поиск и выбор по каждому критерию максимального по полезности значения. Для этого дополнительно к исходным данным строится строка «**max**» в которой и формируется результат данного шага.

На *втором шаге*, на основании выделенных максимальных полезностей, проводится расчет вспомогательного показателя потенциальных потерь w . Значение потерь вычисляется на основании формулы расчета

$$w(Y_{ij}) = \max_j f_{ij} - f_{ij}. \quad (11.3)$$

На основании вычисленных потерь строится матрица потенциальных потерь — матрица сожалений (табл. 11.12), которая размещается в блоке ячеек **F43 : J49**.

На *третьем шаге* на базе данных значений потерь проводится выбор максимальных значений потерь по каждому критерию. Для этого строится дополнительная графа «**Max** W_{ij} ». Среди этих значений проводится выбор оптимального варианта в соответствии с принципом Сэвиджа — среди максимальных значений потерь ищется наименьшее из них. Для этого строится дополнительная строка «**min**», в которой и проводится выбор минимальных потерь из графы «**Max** W_{ij} ».

Общая структура матрицы потерь и процесса выбора по принципу Сэвиджа приведена в табл. 11.10.

Таблица 11.10. Матрица сожалений (потенциальных потерь) Сэвиджа

Альтернативы	Критерии (цели)			max W_{ij}
	K_1	K_2	K_3	
Y_1	0	9	0	9
Y_2	1	0	1	1
Y_3	2	12	1,5	12
Y_4	3	15	2,5	15
$\min_i$				1

Алгоритм реализации процесса выбора по данному принципу представлен в табл. 11.11.

Таблица 11.11. Алгоритм расчета матрицы сожалений и выбора альтернатив

Альтернативы	Критерии (цели)			Max W_{ij}
	K_1	K_2	K_3	
Y_1	=B\$49-B45	=C\$49-C45	=D\$49-D45	=МАКС(G45:I45)
Y_2	=B\$49-B46	=C\$49-C46	=D\$49-D46	=МАКС(G46:I46)
Y_3	=B\$49-B47	=C\$49-C47	=D\$49-D47	=МАКС(G47:I47)
Y_4	=B\$49-B48	=C\$49-C48	=D\$49-D48	=МАКС(G48:I48)
$\min_i$				=МИН(J45:J48)

Электронная таблица, в которой представлен вид табл. 11.11, приведена ниже (рис. 11.3, табл. 5 — исходные данные и матрица сожалений).

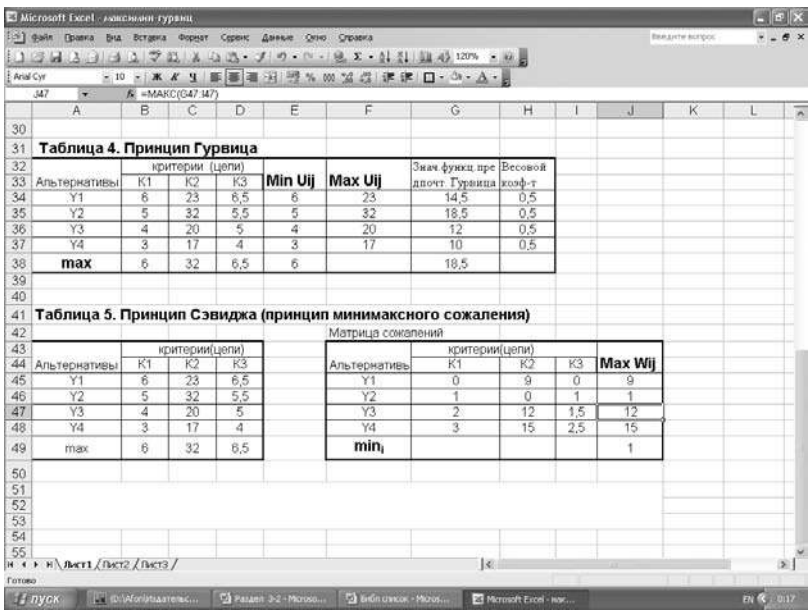


Рис. 11.3. Электронная таблица проведения выбора по принципу Сэвиджа (табл. 5)

Таким образом, оптимальной с учетом стратегии выбора Сэвиджа является стратегия Y_2 , которой соответствуют минимальные потери выгоды, равные 1. В этой связи наилучшим по выделенным потребительским предпочтениям является сотовый телефон, который предлагает поставщик от фирмы *Samsung*.

Таблица 4. Принцип Гурвица

Альтернативы	критерий (цели)			Min Uij	Max Uij	Эксп. функция предпочт. Гурв.
	K1	K2	K3			
Y1	6	23	6,5	=MIN(B34:D34)	=МАКС(C34:E34)	=H34*F34+(1-H34)*F34
Y2	5	32	5,5	=MIN(B35:D35)	=МАКС(C35:E35)	=H35*F35+(1-H35)*F35
Y3	4	20	5	=MIN(B36:D36)	=МАКС(C36:E36)	=H36*F36+(1-H36)*F36
Y4	3	17	4	=MIN(B37:D37)	=МАКС(C37:E37)	=H37*F37+(1-H37)*F37
max	=МАКС(B34:B37)	=МАКС(C34:C37)	=МАКС(D34:D37)	=МАКС(E34:E37)		=МАКС(G34:G37)

Таблица 5. Принцип Сэвиджа (принцип минимаксного сожаления)

Альтернативы	критерий(цели)		
	K1	K2	K3
Y1	6	23	6,5
Y2	5	32	5,5
Y3	4	20	5
Y4	3	17	4
max	=МАКС(B45:B48)	=МАКС(C45:C48)	=МАКС(D45:D48)

Матрица сожалений	
Альтернативы	критерий(цели)
	K1
Y1	=B\$49-B45
Y2	=B\$49-B46
Y3	=B\$49-B47
Y4	=B\$49-B48
min _j	

Рис. 11.4. Электронная таблица алгоритмов расчета по принципу Гурвица и Сэвиджа

11.2. Применение метода «смещенного идеала»

Рассмотрим компьютерное решение задачи методом смещенного идеала.

Задача 11.2. Проблемная ситуация. В офис компании требуется закупить принтер. Принтер должен быть недорогим, качественным (известной марки) и с доступными расходными материалами.

Информация об альтернативных вариантах закупки принтерах (варианты): Y_1 – KODAK Dock; Y_2 – Canon PIXMA; Y_3 – Canon SELPHY; Y_4 – Epson Stylus; Y_5 – Epson Picture; Y_6 – HP DeskJet; Y_7 – HP Photo Smart.

Информация о критериях выбора: K_1 – гарантия, мес.; K_2 – цена картриджа, руб.; K_3 – цена принтера, руб.

На предварительном этапе отобрана группа из 7 принтеров с различными характеристиками $Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7\}$. На основании исходных данных строим матрицу вариантов, а также идеальный и наихудший объекты.

На *первом этапе* проводим выбор предпочтительных альтернатив следующим образом:

1. Вводим исходные данные (табл. 11.12) и по значениям функции полезности альтернатив строим идеальный и наихудший варианты решения.

Таблица 11.12. Матрица формирования задачи

Принтеры	Критерии		
	K_1	K_2	K_3
Y_1	12	405	2910
Y_2	12	349	2338
Y_3	24	785	4801
Y_4	12	378	4306
Y_5	6	285	1862
Y_6	6	334	1658
Y_7	12	407	4335

Строим крайние альтернативы — идеальный и наихудший варианты.

K_1	K_2	K_3	
24	285	1658	Идеальный объект A^+
6	785	4801	Наихудший объект A^-

Для дальнейшей оценки альтернатив необходимо перейти к нормированным значениям, преобразуя их по формуле нормализации:

$$b_i = (k^+ - k_j) / (k^+ - k^-), \quad (11.4)$$

где k_j — текущее значение критерия сравниваемого объекта.

Данные значения представляют собой расстояния от текущего варианта до идеального. Чем меньше значение, тем ближе оцениваемый вариант к идеальному принтеру. Матрица вариантов в относительных единицах представлена в табл. 11.13. При этом считаем, что определены показатели важности критериев W .

Таблица 11.13. Матрица оценки альтернатив в относительных единицах

Альтернативы	Критерии (цели)		
	K_1	K_2	K_3
Y_1	0	0	0,40
Y_2	0,67	0,13	0,22
Y_3	0	1	1,00
Y_4	0,67	0,19	0,84
Y_5	1,00	0,00	0
Y_6	1	0,10	0
Y_7	0,67	0	1
W	6	6	4

Параметры идеального объекта характеризуются крайними значениями данной матрицы $b_i = 0$; для наихудшего $b_i = 1$. Для выявления ненаилучших объектов найдем расстояние каждого объекта до идеального, используя формулу обобщенной метрики:

$$L^p = \sum_{j=1}^n \{ [W_j(1 - b_j)^p] \}^{1/p}, \quad (11.5)$$

где p — степень концентрации, позволяющая переходить к различным метрикам, например при $p = 1$; $L^p = \sum_{j=1}^n W_j(1 - b_j)$ — взвешенная метрика и т. д.

Зададимся весовыми коэффициентами важности приведенных критериев, которые даны в строке «W» табл. 11.13. Имеем следующие значения важности критериев $W_1 = W_2 = 6$, $W_3 = 4$.

Решая данную задачу в электронных таблицах системы Excel, покажем процесс решения в виде совокупности алгоритмов расчета необходимых параметров и структуры используемых форм.

На данном этапе в ЭТ системы Excel выделим ячейки для размещения таблиц (по рис. 11.5).

1. В блоке ячеек **A3 : D11** строим таблицу исходных данных (табл. 1 на рис. 11.5).

2. В блоке ячеек **B12 : D13** вычисляем параметры идеального и наихудшего альтернатив решения (рис. 11.5).

В соответствии с содержанием приведенных критериев $\{K_1, K_2, K_3\}$ приводим формулы выявления граничных критериальных значений. Алгоритм выявления наилучших значений и наихудших значений показан в табл. 11.14, которая размещается в блоке ячеек **B12 : D13**.

Таблица 11.14. Алгоритм расчета значений наилучшего и наихудшего вариантов

K_1	K_2	K_3	Вид объекта
=МАКС(B5:B11)	=МИН(C5:C11)	=МИН(D5:D11)	Идеальный объект Y^+
=МИН(B5:B11)	=МАКС(C5:C11)	=МАКС(D5:D11)	Наихудший объект Y^-

3. В блоке ячеек **A16 : D25** строим таблицу исходных данных, рассчитанных с учетом значений наихудшего и идеального объектов в относительных единицах (табл. 1 на рис. 11.5).

Алгоритм расчета проводится по формуле (11.4) на основании исходных данных, приведенных в табл. 11.12, располагаемых в блоке ячеек **A3 : D11**, значений идеального и наихудшего объектов, располагаемых в блоке ячеек **B12 : D13** на рис. 11.6; форма и структура матрицы относительных величин в табл. 2 на рис. 11.6.

Матрица алгоритма расчета приведена в табл. 11.15.

4. Для расчета метрики расстояния используем формулу расчета (11.5). Алгоритм расчета расстояний базируется на матрице относительных величин (табл. 11.13) и строится в виде матрицы в блоке ячеек **A28 : G37**. Формулы расчета элементов матрицы приводятся в табл. 11.16.

Microsoft Excel - Матрица вариантов

Таблица 1 матрица вариантов (1 этап)

Критерии				
Мониторы	K_1	K_2	K_3	
Y1	12	405	2910	
Y2	12	349	2338	
Y3	24	785	4801	
Y4	12	378	4306	
Y5	6	285	1862	
Y6	6	334	1658	
Y7	12	407	4335	
	24	285	1858	идеальный объект A+
	6	785	4801	наихудший объект A-

Таблица 2 матрица вариантов в относительных единицах (1 этап)

	K_1	K_2	K_3
Y1	1	0	0.40
Y2	0.67	0.13	0.22
Y3	0	1	1.00

Рис. 11.5. Электронная таблица ввода исходных данных по задаче

Таблица 11.15. Матрица вариантов в относительных единицах (этап 1)

Альтернативы	Критерии		
	K_1	K_2	K_3
A_1	$=(B12-B5)/$ $(B12-B13)$	$=(C12-C5)/$ $(C12-C13)$	$=(D12-D5)/$ $(D12-D13)$
A_2	$=(B12-B6)/$ $(B12-B13)$	$=(C12-C6)/$ $(C12-C13)$	$=(D12-D6)/$ $(D12-D13)$
A_3	$=(B12-B7)/$ $(B12-B13)$	$=(C12-C7)/$ $(C12-C13)$	$=(D12-D7)/$ $(D12-D13)$
A_4	$=(B12-B8)/$ $(B12-B13)$	$=(C12-C8)/$ $(C12-C13)$	$=(D12-D8)/$ $(D12-D13)$
A_5	$=(B12-B9)/$ $(B12-B13)$	$=(C12-C9)/$ $(C12-C13)$	$=(D12-D9)/$ $(D12-D13)$
A_6	$=(B12-B10)/$ $(B12-B13)$	$=(C12-C10)/$ $(C12-C13)$	$=(D12-D10)/$ $(D12-D13)$
A_7	$=(B12-B11)/$ $(B12-B13)$	$=(C12-C11)/$ $(C12-C13)$	$=(D12-D11)/$ $(D12-D13)$
Критерии важности, A	6	6	4

Таблица 1 матрица вариантов (1 этап)

	Критерии		
Мониторы	K ₁	K ₂	K ₃
Y1	12	405	2910
Y2	12	349	2338
Y3	24	785	4801
Y4	12	378	4306
Y5	6	285	1862
Y6	6	334	1658
Y7	12	407	4335
	24	285	1658
	6	785	4801

идеальный объект A+
наихудший объект A-

Таблица 2 матрица вариантов в относительных единицах (1 этап)

	K1	K2	K3
Y1	1	0	0,40
Y2	0,67	0,13	0,22
Y3	0	1	1,00
Y4	0,67	0,19	0,84
Y5	1,00	0,00	0
Y6	1	0,10	0
Y7	0,67	0	1
W	6	6	4

Таблица 3 Матрица расстояний различных стратегий (1 этап)

	1 этап	2 этап	3 этап	4 этап

Рис. 11.6. Электронная таблица расчета относительных оценок альтернатив (табл. 2)

На рис. 11.7 приводятся вид электронной таблицы матрицы расстояний до идеального варианта и таблица ранжировки альтернатив.

Для получения указанных таблиц проведем расчет расстояний по алгоритму (табл. 11.16), в результате чего получим таблицу расстояний для различных метрик (различных степеней концентрации) (табл. 11.17).

Максимальное значение метрики L говорит о наибольшей близости объекта к идеальному. Таким образом, присваивая p разные значения, получаем различные стратегии формирования предпочтений и выбора.

5. На данном шаге проведем ранжирование полученных предпочтений и представим их в табл. 11.18.

На основании полученных рангов строим следующую систему предпочтений вариантов.

Таблица 3 Матрица расстояний различных стратегий (1 этап)

степень концентрации, p	1	2	3	5	6	8
L(Y1)	8,97	7,06	4,89	4,61	4,58	4,56
L(Y2)	10,37	6,42	5,67	5,32	5,27	5,24
L(Y3)	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
L(Y4)	7,51	5,32	5,00	4,90	4,89	4,88
L(Y5)	9,74	7,07	6,45	6,11	6,06	6,02
L(Y6)	9,41	6,73	6,06	5,63	5,55	5,47
L(Y7)	7,13	4,99	4,67	4,55	4,54	4,54

Таблица 4 Ранжирование альтернатив по метрикам расстояния (1 этап)

ранг	1	2	3	4	5	6	7
p=1	Y2	Y5	Y6	Y1	Y4	Y7	Y3
p=2	Y5	Y1	Y6	Y2	Y3	Y4	Y7
p=3	Y5	Y6	Y3	Y4	Y2	Y1	Y7
p=5	Y5	Y3	Y6	Y2	Y4	Y1	Y7
p=6	Y5	Y3	Y6	Y2	Y4	Y1	Y7
p=8	Y5	Y3	Y6	Y2	Y4	Y1	Y7

Выводы: убираем Y7 и Y1

Рис. 11.7. Электронная таблица расчета матрицы расстояния и ранжировка альтернатив для этапа 1

Для $p = 1$ $Y_2 > Y_5 > Y_6 > Y_1 > Y_4 > Y_7 > Y_3$.

Для $p = 2$ $Y_5 > Y_1 > Y_6 > Y_2 > Y_3 > Y_4 > Y_7$.

Для $p = 3$ $Y_5 > Y_6 > Y_3 > Y_4 > Y_2 > Y_1 > Y_7$.

Для $p = 5$ $Y_5 > Y_5 > Y_6 > Y_2 > Y_4 > Y_1 > Y_7$.

Для $p = 6$ $Y_5 > Y_5 > Y_6 > Y_2 > Y_4 > Y_1 > Y_7$.

Для $p = 8$ $Y_5 > Y_5 > Y_6 > Y_2 > Y_4 > Y_1 > Y_7$.

Получаем, что $L(Y_1)$ и $L(Y_7)$ являются наименьшими значениями расстояния до идеального варианта, и поэтому считаем их наименее предпочтительными решениями. То есть они наиболее удалены от идеального варианта решения. В этой связи исключаем их из дальнейшего рассмотрения и получаем сокращенное множество альтернатив, для которого повторяем такую же процедуру (2-й этап решения).

Второй этап решения задачи выбора начинаем с анализа сокращенного количества альтернатив (табл. 11.19).

Для данного сокращенного множества повторяем процедуру, начиная с построения идеального объекта.

Вставляем в ЭТ новый лист «Этап 2», в блоке ячеек **A3 : D9** строим таблицу сокращенного множества вариантов (табл. 11.8) (табл. 5 на рис. 11.8).

Таблица 11.16. Алгоритм расчета табл. 3 по рис. 11.5

Метрика расстояния	Степень концентрации, $p = 1$
$L(A1)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B18))^B30+(C25*(1-C18))^B30+(D25*(1-D18))^B30);1/B30)$
$L(A2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B19))^B30+(C25*(1-C19))^B30+(D25*(1-D19))^B30);1/B30)$
$L(A3)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B20))^B30+(C25*(1-C20))^B30+(D25*(1-D20))^B30);1/B30)$
$L(A4)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B21))^B30+(C25*(1-C21))^B30+(D25*(1-D21))^B30);1/B30)$
$L(A5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B22))^B30+(C25*(1-C22))^B30+(D25*(1-D22))^B30);1/B30)$
$L(A6)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B23))^B30+(C25*(1-C23))^B30+(D25*(1-D23))^B30);1/B30)$
$L(A7)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B24))^B30+(C25*(1-C24))^B30+(D25*(1-D24))^B30);1/B30)$
Метрика расстояния	Степень концентрации, $p = 2$
$L(A1)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-C18))^C30+(C25*(1-D18))^C30+(D25*(1-E18))^C30);1/C30)$
$L(A2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B19))^C30+(C25*(1-C19))^C30+(D25*(1-D19))^C30);1/C30)$
$L(A3)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B20))^C30+(C25*(1-C20))^C30+(D25*(1-D20))^C30);1/C30)$
$L(A4)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B21))^C30+(C25*(1-C21))^C30+(D25*(1-D21))^C30);1/C30)$
$L(A5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B22))^C30+(C25*(1-C22))^C30+(D25*(1-D22))^C30);1/C30)$
$L(A6)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B23))^C30+(C25*(1-C23))^C30+(D25*(1-D23))^C30);1/C30)$
$L(A7)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B24))^C30+(C25*(1-C24))^C30+(D25*(1-D24))^C30);1/C30)$
Метрика расстояния	Степень концентрации, $p = 3$
$L(A1)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B18))^D30+(C25*(1-C18))^D30+(D25*(1-D18))^D30);1/D30)$
$L(A2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B19))^D30+(C25*(1-C19))^D30+(D25*(1-D19))^D30);1/D30)$
$L(A3)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-\$B20))^D30+(C25*(1-\$C20))^D30+(D25*(1-\$D20))^D30);1/D30)$
$L(A4)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-\$B21))^D30+(C25*(1-\$C21))^D30+(D25*(1-\$D21))^D30);1/D30)$
$L(A5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-\$B22))^D30+(C25*(1-\$C22))^D30+(D25*(1-\$D22))^D30);1/D30)$
$L(A6)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-\$B23))^D30+(C25*(1-\$C23))^D30+(D25*(1-\$D23))^D30);1/D30)$
$L(A7)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-\$B24))^D30+(C25*(1-\$C24))^D30+(D25*(1-\$D24))^D30);1/D30)$

Таблица 11.16 (окончание)

Метрика расстояния	Степень концентрации, $p = 4$
L(A1)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B18))^E30+(C25*(1-C18))^E30+(D25*(1-D18))^E30);1/E30)$
L(A2)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B19))^E30+(C25*(1-C19))^E30+(D25*(1-D19))^E30);1/E30)$
L(A3)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B20))^E30+(C25*(1-C20))^E30+(D25*(1-D20))^E30);1/E30)$
L(A4)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B21))^E30+(C25*(1-C21))^E30+(D25*(1-D21))^E30);1/E30)$
L(A5)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B22))^E30+(C25*(1-C22))^E30+(D25*(1-D22))^E30);1/E30)$
L(A6)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B23))^E30+(C25*(1-C23))^E30+(D25*(1-D23))^E30);1/E30)$
L(A7)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B24))^E30+(C25*(1-C24))^E30+(D25*(1-D24))^E30);1/E30)$
Метрика расстояния	Степень концентрации, $p = 5$
L(A1)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B18))^F30+(C25*(1-C18))^F30+(D25*(1-D18))^F30);1/F30)$
L(A2)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B19))^F30+(C25*(1-C19))^F30+(D25*(1-D19))^F30);1/F30)$
L(A3)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B20))^F30+(C25*(1-C20))^F30+(D25*(1-D20))^F30);1/F30)$
L(A4)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B21))^F30+(C25*(1-C21))^F30+(D25*(1-D21))^F30);1/F30)$
L(A5)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B22))^F30+(C25*(1-C22))^F30+(D25*(1-D22))^F30);1/F30)$
L(A6)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B23))^F30+(C25*(1-C23))^F30+(D25*(1-D23))^F30);1/F30)$
L(A7)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B24))^F30+(C25*(1-C24))^F30+(D25*(1-D24))^F30);1/F30)$
Метрика расстояния	Степень концентрации, $p = 6$
L(A1)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B18))^G30+(C25*(1-C18))^G30+(D25*(1-D18))^G30);1/G30)$
L(A2)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B19))^G30+(C25*(1-C19))^G30+(D25*(1-D19))^G30);1/G30)$
L(A3)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B20))^G30+(C25*(1-C20))^G30+(D25*(1-D20))^G30);1/G30)$
L(A4)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B21))^G30+(C25*(1-C21))^G30+(D25*(1-D21))^G30);1/G30)$
L(A5)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B22))^G30+(C25*(1-C22))^G30+(D25*(1-D22))^G30);1/G30)$
L(A6)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B23))^G30+(C25*(1-C23))^G30+(D25*(1-D23))^G30);1/G30)$
L(A7)	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B25*(1-B24))^G30+(C25*(1-C24))^G30+(D25*(1-D24))^G30);1/G30)$

Таблица 11.17. Матрица расстояний различных стратегий (этап 1)

Значения меры расстояния	Степень концентрации, p					
	1	2	3	5	6	8
$L(Y_1)$	8,97	7,06	4,89	4,61	4,58	4,56
$L(Y_2)$	10,37	6,42	5,67	5,32	5,27	5,24
$L(Y_3)$	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
$L(Y_4)$	7,51	5,32	5,00	4,90	4,89	4,88
$L(Y_5)$	9,74	7,07	6,45	6,11	6,06	6,02
$L(Y_6)$	9,41	6,73	6,06	5,63	5,55	5,47
$L(Y_7)$	7,13	4,99	4,67	4,55	4,54	4,54

Таблица 11.18. Ранги альтернатив при различных метриках (этап 1)

Степень концентрации, p	Ранги альтернатив						
	1	2	3	4	5	6	7
$p = 1$	Y_2	Y_5	Y_6	Y_1	Y_4	Y_7	Y_3
$p = 2$	Y_5	Y_1	Y_6	Y_2	Y_3	Y_4	Y_7
$p = 3$	Y_5	Y_6	Y_3	Y_4	Y_2	Y_1	Y_7
$p = 5$	Y_5	Y_3	Y_6	Y_2	Y_4	Y_1	Y_7
$p = 6$	Y_5	Y_3	Y_6	Y_2	Y_4	Y_1	Y_7
$p = 8$	Y_5	Y_3	Y_6	Y_2	Y_4	Y_1	Y_7

Таблица 11.19. Сокращенная матрица вариантов (этап 2)

Принтеры	Критерии		
	K_1	K_2	K_3
Y_2	18	405	2910
Y_3	12	349	2338
Y_4	12	378	4306
Y_5	6	285	1862
Y_6	6	334	1658

Алгоритм выявления наилучших и наихудших значений показан в табл. 11.20, которая построена теперь в блоке ячеек **B10 : D11**.

Таблица 11.20. Алгоритм расчета значений наилучшего и наихудшего вариантов

K_1	K_2	K_3	Вид объекта
=МАКС(B5:B11)	=МИН(C5:C11)	=МИН(D5:D11)	Идеальный объект Y^+
=МИН(B5:B11)	=МАКС(C5:C11)	=МАКС(D5:D11)	Наихудший объект Y^-

Алгоритм расчета матрицы вариантов в относительных единицах (табл. 6 - на рис. 11.8) приведен в табл. 11.21.

Таблица 5 Сокращенная матрица вариантов (2 этап)

Альтернативы	Критерии		
	K ₁	K ₂	K ₃
Y2	12	349	2338
Y3	24	785	4801
Y4	12	378	4306
Y5	6	285	1862
Y6	6	334	1658
W	24	285	1658
	6	785	4801

Таблица 6 Матрица вариантов в относительных единицах (2 этап)

Альтернативы	Критерии		
	K1	K2	K3
Y2	1	0	0
Y3	0	1,00	1,00
Y4	0,19	0,84	
Y5	1,00	0	0
Y6	1	0,10	0
W	6	6	4

Рис. 11.8. Таблицы 5 и 6 для этапа 2 решения задачи

Таблица 11.21. Расчет альтернатив в относительных единицах (этап 2)

Сокращенные альтернативы	Критерии		
	K ₁	K ₂	K ₃
Y ₂	$\frac{B_{10}-B_5}{B_{10}-B_{11}}$	$\frac{C_{10}-C_5}{C_{10}-C_{11}}$	$\frac{D_{10}-D_5}{D_{10}-D_{11}}$
Y ₃	$\frac{B_{10}-B_6}{B_{10}-B_{11}}$	$\frac{C_{10}-C_6}{C_{10}-C_{11}}$	$\frac{D_{10}-D_6}{D_{10}-D_{11}}$
Y ₄	$\frac{B_{10}-B_7}{B_{10}-B_{11}}$	$\frac{C_{10}-C_7}{C_{10}-C_{11}}$	$\frac{D_{10}-D_7}{D_{10}-D_{11}}$
Y ₅	$\frac{B_{10}-B_8}{B_{10}-B_{11}}$	$\frac{C_{10}-C_8}{C_{10}-C_{11}}$	$\frac{D_{10}-D_8}{D_{10}-D_{11}}$
Y ₆	$\frac{B_{10}-B_9}{B_{10}-B_{11}}$	$\frac{C_{10}-C_9}{C_{10}-C_{11}}$	$\frac{D_{10}-D_9}{D_{10}-D_{11}}$
W	6	6	4

Алгоритм расчета расстояния до идеального варианта при сокращенном множестве альтернатив (для этапа 2) приведен в табл. 11.22.

Расчет метрик расстояния по приведенному алгоритму представлен на рис. 11.9 (табл. 7).

Таблица 11.22. Алгоритм расчета таблицы 7 по рис. 11.9

Метрика расстояния	Степень концентрации, $p = 1$
L(Y2)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B16)) [^] B26+(C21*(1-C16)) [^] B26+(D21*(1-D16)) [^] B26);1/B26)
L(Y3)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B17)) [^] B26+(C21*(1-C17)) [^] B26+(D21*(1-D17)) [^] B26);1/B26)
L(Y4)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B18)) [^] B26+(C21*(1-C18)) [^] B26+(D21*(1-D18)) [^] B26);1/B26)
L(Y5)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B19)) [^] B26+(C21*(1-C19)) [^] B26+(D21*(1-D19)) [^] B26);1/B26)
L(Y6)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B20)) [^] B26+(C21*(1-C20)) [^] B26+(D21*(1-D20)) [^] B26);1/B26)
	Степень концентрации, $p = 2$
L(Y2)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-C16)) [^] C26+(C21*(1-D16)) [^] C26+(D21*(1-E16)) [^] C26);1/C26)
L(Y3)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B17)) [^] C26+(C21*(1-C17)) [^] C26+(D21*(1-D17)) [^] C26);1/C26)
L(Y4)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B18)) [^] C26+(C21*(1-C18)) [^] C26+(D21*(1-D18)) [^] C26);1/C26)
L(Y5)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B19)) [^] C26+(C21*(1-C19)) [^] C26+(D21*(1-D19)) [^] C26);1/C26)
L(Y6)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B19)) [^] C26+(C21*(1-C19)) [^] C26+(D21*(1-D19)) [^] C26);1/C26)
	Степень концентрации, $p = 3$
L(Y2)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B16)) [^] D26+(C21*(1-C16)) [^] D26+(D21*(1-D16)) [^] D26);1/D26)
L(Y3)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B17)) [^] D26+(C21*(1-C17)) [^] D26+(D21*(1-D17)) [^] D26);1/D26)
L(Y4)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-\$B18)) [^] D26+(C21*(1-\$C18)) [^] D26+(D21*(1-\$D18)) [^] D26);1/D26)
L(Y5)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-\$B19)) [^] D26+(C21*(1-\$C19)) [^] D26+(D21*(1-\$D19)) [^] D26);1/D26)
L(Y6)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-\$B20)) [^] D26+(C21*(1-\$C20)) [^] D26+(D21*(1-\$D20)) [^] D26);1/D26)
	Степень концентрации, $p = 5$
L(Y2)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B16)) [^] E26+(C21*(1-C16)) [^] E26+(D21*(1-D16)) [^] E26);1/E26)
L(Y3)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B17)) [^] E26+(C21*(1-C17)) [^] E26+(D21*(1-D17)) [^] E26);1/E26)
L(Y4)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B18)) [^] E26+(C21*(1-C18)) [^] E26+(D21*(1-D18)) [^] E26);1/E26)
L(Y5)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B19)) [^] E26+(C21*(1-C19)) [^] E26+(D21*(1-D19)) [^] E26);1/E26)
L(Y6)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B20)) [^] E26+(C21*(1-C20)) [^] E26+(D21*(1-D20)) [^] E26);1/E26)
	Степень концентрации, $p = 6$
L(Y2)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B16)) [^] F26+(C21*(1-C16)) [^] F26+(D21*(1-D16)) [^] F26);1/F26)
L(Y3)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B17)) [^] F26+(C21*(1-C17)) [^] F26+(D21*(1-D17)) [^] F26);1/F26)
L(Y4)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B18)) [^] F26+(C21*(1-C18)) [^] F26+(D21*(1-D18)) [^] F26);1/F26)
L(Y5)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B19)) [^] F26+(C21*(1-C19)) [^] F26+(D21*(1-D19)) [^] F26);1/F26)
L(Y6)	=СТЕПЕНЬ(((B21*(1-B20)) [^] F26+(C21*(1-C20)) [^] F26+(D21*(1-D20)) [^] F26);1/F26)

Таблица 11.22 (окончание)

Метрика расстояния	Степень концентрации, $p = 8$	
	$L(Y_2)$	$=\text{СТЕПЕНЬ}(((B21*(1-B16))^{\wedge}G26+(C21*(1-C16))^{\wedge}G26+(D21*(1-D16))^{\wedge}G26);1/G26)$
	$L(Y_3)$	$=\text{СТЕПЕНЬ}(((B21*(1-B17))^{\wedge}G26+(C21*(1-C17))^{\wedge}G26+(D21*(1-D17))^{\wedge}G26);1/G26)$
	$L(Y_4)$	$=\text{СТЕПЕНЬ}(((B21*(1-B18))^{\wedge}G26+(C21*(1-C18))^{\wedge}G26+(D21*(1-D18))^{\wedge}G26);1/G26)$
	$L(Y_5)$	$=\text{СТЕПЕНЬ}(((B21*(1-B19))^{\wedge}G26+(C21*(1-C19))^{\wedge}G26+(D21*(1-D19))^{\wedge}G26);1/G26)$
	$L(Y_6)$	$=\text{СТЕПЕНЬ}(((B21*(1-B20))^{\wedge}G26+(C21*(1-C20))^{\wedge}G26+(D21*(1-D20))^{\wedge}G26);1/G26)$

Microsoft Excel - Метрики расстояния										
Файл Правка Вид Вставка Формат Ссылки Данные Сервис Справка										
Введите вопрос										
Формулы										
МКСД X V K =СТЕПЕНЬ((B21*(1-B16))^C26+(C21*(1-C16))^C26+(D21*(1-D16))^C26;1/C26)										
23										
24	Таблица 7 Матрица расстояний различных стратегий (2 этап)									
25		степень концентрации, p								
26	значения меры расстояния	1	2	3	5	6	8			
27	$L(Y_2)$	10,37	8,09	5,67	5,32	5,27	5,24			
28	$L(Y_3)$	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00			
29	$L(Y_4)$	7,51	5,26	5,00	4,90	4,89	4,88			
30	$L(Y_5)$	9,74	7,07	6,45	6,11	6,06	6,02			
31	$L(Y_6)$	9,41	6,73	6,06	5,63	5,55	5,47			
32										
33										
34	Таблица 8 Ранжирование альтернатив по метрикам расстояния (2 этап)									
35	ранг	1	2	3	4	5				
36	$p=1$	Y2	Y5	Y6	Y4	Y3				
37	$p=2$	Y2	Y5	Y6	Y3	Y4				
38	$p=3$	Y5	Y6	Y3	Y2	Y4				
39	$p=5$	Y5	Y2	Y6	Y1	Y4				
40	$p=6$	Y5	Y3	Y6	Y2	Y4				
41	$p=8$	Y5	Y3	Y6	Y2	Y4				
42										
43	Выводы:	убираем Y4								
44										
45										

Рис. 11.9. ЭТ расчета метрики и ранжирования альтернатив (табл. 7 и 8 этапа 2)

На основании рассчитанных значений метрики проводим ранжирование альтернатив по различным видам метрики, структура предпочтений которых приведена в табл. 11.23.

Для полученных рангов альтернатив строим следующую систему их предпочтений:

$$\text{Для } p = 1 \quad Y_2 > Y_5 > Y_6 > Y_4 > Y_3.$$

Таблица 11.23. Ранжирование альтернатив по метрикам расстояния (этап 2)

Ранг	1	2	3	4	5
$p = 1$	Y_2	Y_5	Y_6	Y_4	Y_3
$p = 2$	Y_2	Y_5	Y_6	Y_3	Y_4
$p = 3$	Y_5	Y_6	Y_3	Y_2	Y_4
$p = 5$	Y_5	Y_2	Y_6	Y_1	Y_4
$p = 6$	Y_5	Y_3	Y_6	Y_2	Y_4
$p = 8$	Y_5	Y_3	Y_6	Y_2	Y_4

Для $p = 2$ $Y_2 > Y_5 > Y_6 > Y_3 > Y_4$.

Для $p = 3$ $Y_5 > Y_6 > Y_3 > Y_2 > Y_4$.

Для $p = 5$ $Y_5 > Y_2 > Y_6 > Y_1 > Y_4$.

Для $p = 6$ $Y_5 > Y_3 > Y_6 > Y_2 > Y_4$.

Для $p = 8$ $Y_5 > Y_3 > Y_6 > Y_2 > Y_4$.

На основании данного этапа отсеиваем явно ненаилучшую альтернативу Y_4 и получаем следующее сокращенное множество альтернатив $\{Y_2, Y_3, Y_5, Y_6\}$.

На *третьем этапе* повторяем процедуру отсеивания альтернатив решения.

Для этого в ЭТ формируем новую страницу «Этап 3», где проводим расчеты по данному этапу для полученных альтернатив. На данном этапе строятся четыре таблицы.

- Таблица 8, в которой указываются значения функции полезности допустимых альтернатив (рис. 11.10) по этапу 3 выбора (блок ячеек для организации матрицы **A4 : D9**).
- Таблица, в которой определяются значений критериев для наилучшего (идеального) и наихудшего вариантов решения (блок ячеек **A10 : D11**).
- В блоке ячеек **A14 : D20** (рис. 11.10) строим матрицу расстояний в относительных единицах (этап 3) (табл. 9). Алгоритм расчета данной таблицы показан в табл. 11.24.

Таблица 11.24. Алгоритм расчета матрицы расстояний в относительных единицах (этап 3)

Допустимые альтернативы	Критерии		
	K_1	K_2	K_3
Y_2	$=(B10-B6)/(B10-B11)$	$=(C10-C6)/(C10-C11)$	$=(D10-D6)/(D10-D11)$
Y_3	$=(B10-B7)/(B10-B11)$	$=(C10-C7)/(C10-C11)$	$=(D10-D7)/(D10-D11)$
Y_5	$=(B10-B8)/(B10-B11)$	$=(C10-C8)/(C10-C11)$	$=(D10-D8)/(D10-D11)$
Y_6	$=(B10-B9)/(B10-B11)$	$=(C10-C9)/(C10-C11)$	$=(D10-D9)/(D10-D11)$
W	6	6	4

- Строим таблицу расчета расстояний до идеального варианта (табл. 10 на рис. 11.11 — матрица расстояний различных стратегий (3-й этап)), которую размещаем в блоке ячеек **A24 : G29**. Вид этой электронной таблицы приведен на рис. 11.11, а алгоритм расчета показан в табл. 11.25.

Таблица 11.25. Алгоритм расчета матрицы расстояний в относительных единицах (этап 3)

Метрика расстояния	Степень концентрации, $p = 1$
$L(Y2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B16))^{\wedge}B25+(C20*(1-C16))^{\wedge}B25+(D20*(1-D16))^{\wedge}B25);1/B25)$
$L(Y3)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B17))^{\wedge}B25+(C20*(1-C17))^{\wedge}B25+(D20*(1-D17))^{\wedge}B25);1/B25)$
$L(Y5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B18))^{\wedge}B25+(C20*(1-C18))^{\wedge}B25+(D20*(1-D18))^{\wedge}B25);1/B25)$
$L(Y6)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B19))^{\wedge}B25+(C20*(1-C19))^{\wedge}B25+(D20*(1-D19))^{\wedge}B25);1/B25)$
	Степень концентрации, $p = 2$
$L(Y2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-C16))^{\wedge}C25+(C20*(1-D16))^{\wedge}C25+(D20*(1-E16))^{\wedge}C25);1/C25)$
$L(Y3)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B17))^{\wedge}C25+(C20*(1-C17))^{\wedge}C25+(D20*(1-D17))^{\wedge}C25);1/C25)$
$L(Y5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B18))^{\wedge}C25+(C20*(1-C18))^{\wedge}C25+(D20*(1-D18))^{\wedge}C25);1/C25)$
$L(Y6)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B19))^{\wedge}C25+(C20*(1-C19))^{\wedge}C25+(D20*(1-D19))^{\wedge}C25);1/C25)$
	Степень концентрации, $p = 3$
$L(Y2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B16))^{\wedge}D25+(C20*(1-C16))^{\wedge}D25+(D20*(1-D16))^{\wedge}D25);1/D25)$
$L(Y3)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B17))^{\wedge}D25+(C20*(1-C17))^{\wedge}D25+(D20*(1-D17))^{\wedge}D25);1/D25)$
$L(Y5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-\$B18))^{\wedge}D25+(C20*(1-\$C18))^{\wedge}D25+(D20*(1-\$D18))^{\wedge}D25);1/D25)$
$L(Y6)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-\$B19))^{\wedge}D25+(C20*(1-\$C19))^{\wedge}D25+(D20*(1-\$D19))^{\wedge}D25);1/D25)$
	Степень концентрации, $p = 5$
$L(Y2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B16))^{\wedge}E25+(C20*(1-C16))^{\wedge}E25+(D20*(1-D16))^{\wedge}E25);1/E25)$
$L(Y3)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B17))^{\wedge}E25+(C20*(1-C17))^{\wedge}E25+(D20*(1-D17))^{\wedge}E25);1/E25)$
$L(Y5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B18))^{\wedge}E25+(C20*(1-C18))^{\wedge}E25+(D20*(1-D18))^{\wedge}E25);1/E25)$
$L(Y6)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B19))^{\wedge}E25+(C20*(1-C19))^{\wedge}E25+(D20*(1-D19))^{\wedge}E25);1/E25)$
	Степень концентрации, $p = 6$
$L(Y2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B16))^{\wedge}F25+(C20*(1-C16))^{\wedge}F25+(D20*(1-D16))^{\wedge}F25);1/F25)$
$L(Y3)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B17))^{\wedge}F25+(C20*(1-C17))^{\wedge}F25+(D20*(1-D17))^{\wedge}F25);1/F25)$
$L(Y5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B18))^{\wedge}F25+(C20*(1-C18))^{\wedge}F25+(D20*(1-D18))^{\wedge}F25);1/F25)$
$L(Y6)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B19))^{\wedge}F25+(C20*(1-C19))^{\wedge}F25+(D20*(1-D19))^{\wedge}F25);1/F25)$
	Степень концентрации, $p = 8$
$L(Y2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B16))^{\wedge}G25+(C20*(1-C16))^{\wedge}G25+(D20*(1-D16))^{\wedge}G25);1/G25)$
$L(Y3)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B17))^{\wedge}G25+(C20*(1-C17))^{\wedge}G25+(D20*(1-D17))^{\wedge}G25);1/G25)$
$L(Y5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B18))^{\wedge}G25+(C20*(1-C18))^{\wedge}G25+(D20*(1-D18))^{\wedge}G25);1/G25)$
$L(Y6)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B20*(1-B19))^{\wedge}G25+(C20*(1-C19))^{\wedge}G25+(D20*(1-D19))^{\wedge}G25);1/G25)$

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following content:

Таблица 8 Сокращенная матрица вариантов (3 этап)

Монитор	Критерии		
	K ₁	K ₂	K ₃
Y2	24	785	4801
Y3	12	378	4306
Y5	6	334	1658
Y6	12	407	4335
	24	334	1658
	6	785	4801

идеальный объект A+
наихудший объект A-

Таблица 9 Матрица вариантов в относительных единицах (3 этап)

	K1	K2	K3
Y2	0	1	1
Y3	1	0,10	0,10
Y5	1,00	0	0
Y6	1	0,16	1
W	6	6	4

Рис. 11.10. Этап 3 выбора предпочтительного варианта (часть 1)

На основании полученных расчетов строим ранжированную таблицу альтернатив (табл. 11 на рис. 11.11). Таблица ранжирования альтернатив приведена в табл. 11.26.

Таблица 11.26. Ранжирование альтернатив по метрикам расстояния (этап 3)

Ранг	1	2	3	4
$p = 1$	Y_5	Y_6	Y_3	Y_2
$p = 2$	Y_5	Y_3	Y_6	Y_2
$p = 3$	Y_5	Y_3	Y_2	Y_6
$p = 5$	Y_5	Y_2	Y_3	Y_6
$p = 6$	Y_5	Y_2	Y_3	Y_6
$p = 8$	Y_5	Y_2	Y_3	Y_6

На основании таблицы ранжировки (табл. 11.26) строим следующую систему предпочтений альтернатив:

Для $p = 1$ $Y_5 > Y_6 > Y_3 > Y_2$.

Для $p = 2$ $Y_5 > Y_3 > Y_6 > Y_2$.

Для $p = 3$ $Y_5 > Y_3 > Y_2 > Y_6$.

Таблица 10 Матрица расстояний различных стратегий (3 этап)

	степень концентрации, p					
мера рас	1	2	3	5	6	8
L(Y2)	6,00	4,00	8,00	6,00	6,00	6,00
L(Y3)	8,04	5,81	5,51	5,42	5,42	5,41
L(Y5)	10,00	7,21	6,54	6,15	6,08	6,03
L(Y6)	7,62	5,44	5,13	5,04	5,03	5,03

Таблица 11 Ранжирование альтернатив по метрикам расстояния (3 этап)

ранг	1	2	3	4
$p=1$	Y5	Y6	Y3	Y2
$p=2$	Y5	Y3	Y6	Y2
$p=3$	Y5	Y3	Y2	Y6
$p=5$	Y5	Y2	Y3	Y6
$p=6$	Y5	Y2	Y3	Y6
$p=8$	Y5	Y2	Y3	Y6

Выводы: убираем Y6 и Y3

Рис. 11.11. Этап 3 выбора предпочтительного варианта (часть 2)

Для $p = 5$ $Y_5 > Y_2 > Y_3 > Y_6$.

Для $p = 6$ $Y_5 > Y_2 > Y_3 > Y_6$.

Для $p = 8$ $Y_5 > Y_2 > Y_3 > Y_6$.

Таким образом, на основании данного этапа отсеиваем явно ненаилучшие альтернативы Y_6 и Y_3 и получаем следующее сокращенное множество альтернатив $\{Y_5, Y_2\}$.

На *четвертом этапе* опять повторяем процедуру отсеивания альтернатив решения.

Для этого в ЭТ формируем новую страницу «Этап 4» (рис. 9.9), где проводим расчеты по данному этапу для полученных альтернатив. На данном этапе строятся четыре таблицы.

- Таблица 12, в которой указываются значения функции полезности допустимых альтернатив (рис. 11.12) по этапу 4 выбора. Блок ячеек для организации матрицы **A4 : D7**.
- Таблица, в которой определяются значения критериев для наилучшего (идеального) и наихудшего вариантов решения. Блок ячеек **A8 : D9**. Алгоритмы построения табл. 12–13 (рис. 11.12) приведены в виде табл. 11.27–11.28.

Таблица 11.27. Алгоритм расчета сокращенной матрицы вариантов (4-й этап)

Альтернативы	Критерии			
	K_1	K_2	K_3	
Y_2	= '1 этап'!B7	= '1 этап'!C7	= '1 этап'!D7	
Y_5	= '1 этап'!B10	= '1 этап'!C10	= '1 этап'!D10	
	=МАКС(B6:B7)	=МИН(C6:C7)	=МИН(D6:D7)	
	=МИН(B6:B7)	=МАКС(C6:C7)	=МАКС(D6:D7)	

Идеальный объект A^+

Наихудший объект A^-

Таблица 11.28. Алгоритм расчета матрицы вариантов в относительных единицах (4-й этап)

Альтернативы	Критерии		
	K_1	K_2	K_3
Y_2	=(B8-B6)/(B8-B9)	=(C8-C6)/(C8-C9)	=(D8-D6)/(D8-D9)
Y_5	=(B8-B7)/(B8-B9)	=(C8-C7)/(C8-C9)	=(D8-D7)/(D8-D9)
W	6	6	4

- В блоке ячеек **A12 : D16** (рис. 11.12) строим табл. 13 — матрицу расстояний в относительных единицах (этап 4). Алгоритм расчета данной таблицы приведен выше.

Microsoft Excel - Математический анализ

Файл | Вид | Вставка | Ссылки | Данные | Сервис | Избранное | Справка

Введите данные

100%

Имя листа: Лист1

MSD

$=СТЕПЕНЬ((B16*11-8*15)/0,000+(C16*11-4*15)/0,000+(D16*11-5*15)/0,000,1/0,000)$

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

438

439

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522

523

524

525

526

527

528

529

530

531

532

533

534

535

536

537

538

539

540

541

542

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562

563

564

565

566

567

568

569

570

571

572

573

574

575

576

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619

620

621

622

623

624

625

626

627

628

629

630

631

632

633

634

635

636

637

638

639

640

641

642

643

644

645

646

647

648

649

650

651

652

653

654

655

656

657

658

659

660

661

662

663

664

665

666

667

668

669

670

671

672

673

674

675

676

677

678

679

680

681

682

683

684

685

686

687

688

689

690

691

692

693

694

695

696

697

698

699

700

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710

711

712

713

714

715

716

717

718

719

720

721

722

723

724

725

726

727

728

729

730

731

732

733

734

735

736

737

738

739

740

741

742

743

744

745

746

747

748

749

750

751

752

753

754

755

756

757

758

759

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

770

771

772

773

774

775

776

777

778

779

780

781

782

783

784

785

786

787

788

789

790

791

792

793

794

795

796

797

798

799

800

801

802

803

804

805

806

807

808

809

810

811

812

813

814

815

816

817

818

819

820

821

822

823

824

825

826

827

828

829

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

840

841

842

843

844

845

846

847

848

849

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

860

861

862

863

864

865

866

867

868

869

870

871

872

873

874

875

876

877

878

879

880

881

882

883

884

885

886

887

888

889

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

910

911

912

913

914

915

916

917

918

919

920

921

922

923

924

925

926

927

928

929

930

931

932

933

934

935

936

937

938

939

940

941

942

943

944

945

946

947

948

949

950

951

952

953

954

955

956

957

958

959

960

961

962

963

964

965

966

967

968

969

970

971

972

973

974

975

976

977

978

979

980

981

982

983

984

985

986

987

988

989

990

991

992

993

994

995

996

997

998

999

1000

1001

1002

1003

1004

1005

1006

1007

1008

1009

1010

1011

1012

1013

1014

1015

1016

1017

1018

1019

1020

1021

1022

1023

1024

1025

1026

1027

1028

1029

1030

1031

1032

1033

1034

1035

1036

1037

1038

1039

1040

1041

1042

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1060

1061

1062

1063

1064

1065

1066

1067

1068

1069

1070

1071

1072

1073

1074

1075

1076

1077

1078

1079

1080

1081

1082

1083

1084

1085

1086

1087

1088

1089

1090

1091

1092

1093

1094

1095

1096

1097

1098

1099

1100

1101

1102

1103

1104

1105

1106

1107

1108

1109

1110

1111

1112

1113

1114

1115

1116

1117

1118

1119

1120

1121

1122

1123

1124

1125

1126

1127

1128

1129

1130

1131

1132

1133

1134

1135

1136

1137

1138

1139

1140

1141

1142

1143

1144

1145

1146

1147

1148

1149

1150

1151

1152

1153

1154

1155

1156

1157

1158

1159

1160

1161

1162

1163

1164

1165

1166

1167

1168

1169

1170

1171

1172

1173

1174

1175

1176

1177

1178

1179

1180

1181

1182

1183

1184

1185

1186

1187

1188

1189

1190

1191

1192

1193

1194

1195

1196

1197

1198

1199

1200

1201

1202

1203

1204

1205

1206

1207

1208

1209

1210

1211

1212

1213

1214

1215

1216

1217

1218

1219

1220

1221

1222

1223

1224

1225

1226

1227

1228

1229

1230

1231

1232

1233

1234

1235

1236

1237

1238

1239

1240

1241

1242

1243

1244

1245

1246

1247

1248

1249

1250

1251

1252

1253

1254

1255

1256

1257

1258

1259

1260

1261

1262

1263

1264

1265

1266

1267

1268

1269

1270

1271

1272

1273

1274

1275

1276

1277

1278

1279

1280

1281

1282

1283

1284

1285

1286

1287

1288

1289

1290

1291

1292

1293

1294

1295

1296

1297

1298

1299

1300

1301

1302

1303

1304

1305

1306

1307

1308

1309

1310

1311

1312

1313

1314

1315

1316

1317

1318

1319

1320

1321

1322

1323

1324

1325

1326

1327

1328

1329

1330

1331

1332

1333

1334

1335

1336

1337

1338

1339

1340

1341

1342

1343

1344

1345

1346

1347

1348

1349

1350

1351

1352

1353

1354

1355

1356

1357

1358

1359

1360

1361

1362

1363

1364

1365

1366

1367

1368

1369

1370

1371

1372

1373

1374

1375

1376

1377

1378

1379

1380

1381

1382

1383

1384

1385

1386

1387

1388

1389

1390

1391

1392

1393

1394

1395

1396

1397

1398

1399

1400

1401

1402

1403

1404

1405

1406

1407

1408

1409

1410

1411

1412

1413

1414

1415

1416

1417

1418

1419

1420

1421

1422

1423

1424

1425

1426

1427

1428

1429

1430

1431

1432

1433

1434

1435

1436

1437

1438

1439

1440

1441

1442

1443

1444

1445

1446

1447

1448

1449

1450

1451

1452

1453

1454

1455

1456

1457

1458

1459

1460

1461

1462

1463

1464

1465

1466

1467

1468

1469

1470

1471

1472

1473

1474

1475

1476

1477

1478

1479

1480

1481

1482

1483

Рис. 11.12. Электронная таблица этапа 4 выбора предпочтительного варианта

- В блоке ячеек **A18 : G22** (рис. 11.12) строим табл. 14 — матрицу расстояний различных стратегий (этап 4). Алгоритм расчета данной таблицы приведен в табл. 11.29.

Таблица 11.29. Алгоритм расчета матрицы расстояний в относительных единицах (этап 4)

Метрика расстояния	Степень концентрации, $p = 1$
$L(Y_2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B16*(1-B14))^B20+(C16*(1-C14))^B20+(D16*(1-D14))^B20);1/B20)$
$L(Y_5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B16*(1-B15))^B20+(C16*(1-C15))^B20+(D16*(1-D15))^B20);1/B20)$
	Степень концентрации, $p = 2$
$L(Y_2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B16*(1-C14))^C20+(C16*(1-D14))^C20+(D16*(1-E14))^C20);1/C20)$
$L(Y_5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B16*(1-B15))^C20+(C16*(1-C15))^C20+(D16*(1-D15))^C20);1/C20)$
	Степень концентрации, $p = 3$
$L(Y_2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B16*(1-B14))^D20+(C16*(1-C14))^D20+(D16*(1-D14))^D20);1/D20)$
$L(Y_5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B16*(1-B15))^D20+(C16*(1-C15))^D20+(D16*(1-D15))^D20);1/D20)$
	Степень концентрации, $p = 5$
$L(Y_2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B16*(1-B14))^E20+(C16*(1-C14))^E20+(D16*(1-D14))^E20);1/E20)$
$L(Y_5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B16*(1-B15))^E20+(C16*(1-C15))^E20+(D16*(1-D15))^E20);1/E20)$
	Степень концентрации, $p = 6$
$L(Y_2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B16*(1-B14))^F20+(C16*(1-C14))^F20+(D16*(1-D14))^F20);1/F20)$
$L(Y_5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B16*(1-B15))^F20+(C16*(1-C15))^F20+(D16*(1-D15))^F20);1/F20)$
	Степень концентрации, $p = 8$
$L(Y_2)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B16*(1-B14))^G20+(C16*(1-C14))^G20+(D16*(1-D14))^G20);1/G20)$
$L(Y_5)$	$= \text{СТЕПЕНЬ}(((B16*(1-B15))^G20+(C16*(1-C15))^G20+(D16*(1-D15))^G20);1/G20)$

По результатам оценки альтернатив построим ранжировку альтернатив, приведенную в табл. 11.30.

Таблица 11.30. Ранжирование альтернатив по метрикам расстояния (4-й этап)

Ранг	1	2
$\nu = 1$	Y_5	Y_2
$p_- = 2$	Y_5	Y_2
$p = 3$	Y_5	Y_2
$p = 5$	Y_5	Y_2
$p = 6$	Y_5	Y_2
$p = 8$	Y_5	Y_2

На основании таблицы ранжировки (табл. 11.30) строим следующую систему предпочтений альтернатив:

Для $p = 1$ $Y_5 > Y_2$.

Для $p = 2$ $Y_5 > Y_2$.

Для $p = 3$ $Y_5 > Y_2$.

Для $p = 5$ $Y_5 > Y_2$.

Для $p = 6$ $Y_5 > Y_2$.

Для $p = 8$ $Y_5 > Y_2$.

На основании данного этапа отсеиваем ненаилучшую альтернативу Y_2 и получаем наиболее рациональную альтернативу $\{Y_5\}$.

Таким образом, доминирующим вариантом является объект с расстоянием $L(Y_5)$, которому соответствует альтернатива Y_5 — наиболее близкая к идеальному объекту. Именно этот вариант решения и является наиболее предпочтительным и рациональным.

11.3. Применение метода анализа иерархий

Пример 11.3. *Постановка задачи.* Рассмотрим проблему выбора наиболее предпочтительного варианта выбора работы по критерию *полезности* при наличии у ЛПР некоторого множества допустимых альтернатив рабочих вакансий. Хотя список факторов полезности (локальных критериев, описывающих понятие «полезность»), принимаемых во внимание каждым индивидуумом, может быть существенно различным, будем считать, что имеется ряд общих критериев выбора (табл. 11.31).

Таблица 11.31. Набор критериев выбора

Фактор	Содержание фактора
K_1	Годовая заработная плата (ЗАР)
K_2	Перспективы продвижения (ПРОД)
K_3	Месторасположение (МЕСТО)
K_4	Вид работы (ВР)
K_5	Риск увольнения (РИСК)
K_6	Престиж работы (ПРЕС)
K_7	Продолжительность рабочей недели (НЕД)
K_8	Продолжительность отпуска (ОТП)
K_9	Удаленность от дома (ДИСТ)

Решение задачи включает в себя несколько этапов.

На *первом этапе* определяется относительная важность (ценность) каждого варианта работы с учетом вышеперечисленных факторов. Указанные факторы могут быть агрегированы, т. е. объединены в группы, образующие элементы иерархии более высокого уровня, например такие, как: *вознаграждение* (F_1), *рабо-*

$ma(F_2)$ и *личные предпочтения* (F_3), где структурированные факторы включают в себя следующие наборы факторов (локальных критериев):

$$F_1 = (K_1, K_2, K_3); F_2 = (K_4, K_6); F_3 = (K_3, K_7, K_8, K_9).$$

На втором этапе решения формируются оценки относительной важности факторов на каждом уровне иерархии. Такая оценка может проводиться экспертным путем на базе использования метода парных сравнений субъективных суждений, отражающих оценку важности факторов в соответствии с критериями, приведенными в табл. 11.31. Парные сравнения выполняются между всеми элементами соответствующего уровня иерархии.

Для определения полезности работы (выгоды) парному сравнению подлежат следующие агрегированные факторы: *вознаграждение*, *вид работы*, *личные предпочтения*. Будем исходить из того, что существует возможность провести ранжировку факторов в порядке убывания их важности, т. е. можно задать на множестве факторов (критериев) их ранжировку. Тогда можно построить матрицу (треугольную) парных сравнений, элементы которой располагаются в ее правой верхней части.

Для оценок могут использоваться целые или дробные числа. В данном примере рассмотрим три варианта процедуры парного сравнения. Причем считаем, что факторы упорядочены следующим образом: фактор *вознаграждение* считается существенно предпочтительнее, чем фактор *работа*, и подавляюще предпочтительнее, чем фактор *личные предпочтения*, а фактор *работа* считается умеренно важнее, чем фактор *личные предпочтения*.

Формальная запись предпочтений будет такой:

$$F_1 \succ F_2, F_1 \succ F_3, F_2 \succ F_3.$$

Рассмотрим структуру разработанных электронных таблиц в среде Excel, используемых для выбора оптимального решения (наиболее предпочтительной работы).

Структура факторов и их иерархия по полезности приведена на рис. 11.13.

Шкала относительной важности факторов при их парном сравнении приведена на рис. 11.14 и задана в виде таблицы лингвистических значений факторов (табл. 2 на рис. 11.14), а сами матрицы парных сравнений — на рис. 11.15.

Структура электронных таблиц, приведенных на рис. 11.15, 11.16, содержит следующие внутренние обозначения:

- обобщенная матрица парных сравнений — табл. 3;
- таблица парных сравнений по фактору *вознаграждение* — табл. 4;
- таблица парных сравнений по фактору *работа* — табл. 5;
- таблица парных сравнений по фактору *личные предпочтения* — табл. 6 и др.

Определим блоки ячеек для построения матриц решения, отраженные в электронных таблицах:

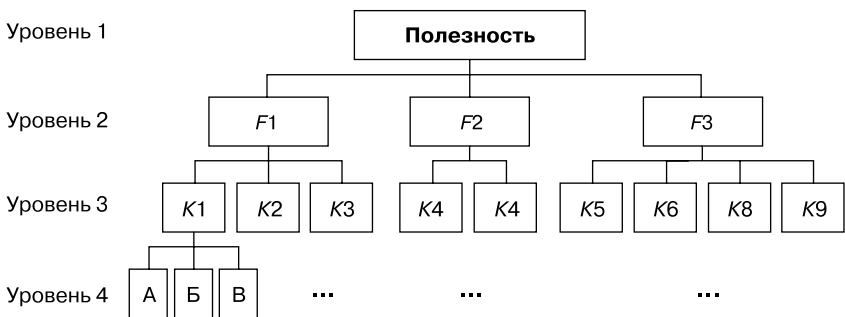


Рис. 11.13. Иерархия факторов, влияющих на оценку полезности: А, Б, В — сравнительные варианты найденных мест работы для каждого из элементов третьего уровня

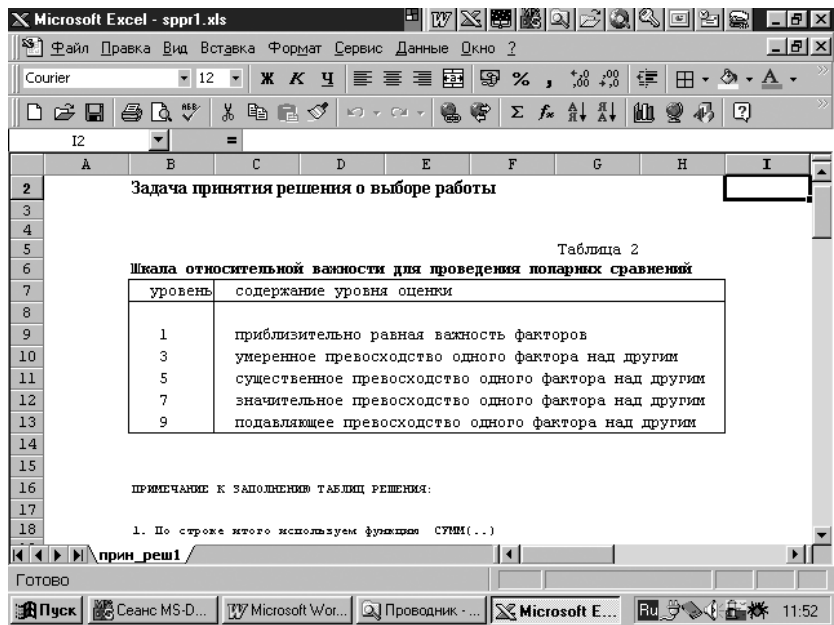


Рис. 11.14. Лингвистические значения важности факторов

Таблица 1 — набор критериев выбора **M7 : N16**.

Таблица 2 — шкала относительной важности для проведения попарных сравнений **B7 : H13**.

Таблица 3 — обобщенная таблица попарных сравнений **B28 : I33**.

Microsoft Excel - sppr1.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно ?

Courier 12 Ж К Ч % , ,00 ,00

F30 =C30/C33

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
25										
26										
27										
28		Обобщенная таблица попарных сравнений								
29		полная матрица			нормализованная матрица			среднее		
30	вознагр	1	5	9	0,762712	0,789474	0,692308	по строке		
31	работа	0,2	1	3	0,152542	0,157895	0,230769	0,180402		
32	лич. пред	0,111111	0,333333	1	0,084746	0,052632	0,076923	0,071433		
33	итого	1,311111	6,333333	13						
34										
35										
36		Таблица попарных сравнений по фактору вознаграждение								
37		полная матрица			нормализованная матрица			среднее	весовой	
38	зарплата	1	3	5	0,652174	0,666667	0,625	по строке	коэф-т	
39	продолж	0,333333	1	2	0,217391	0,222222	0,25	0,229871	0,171981	
40	риск	0,2	0,5	1	0,130435	0,111111	0,125	0,122182	0,091412	
41	итого	1,533333	4,5	8						
42										
43										
44										
45										

Таблица 3

Таблица 4

прин. реш1

Готово

Пуск Сеанс MS-D... Microsoft Wor... Проводник... Microsoft E... 11:55

Рис. 11.15. Структура матриц парных сравнений (табл. 3 и табл. 4)

Таблица 4 — таблица попарных сравнений по фактору *вознаграждение* **B37 : J42**.

Таблица 5 — таблица попарных сравнений по фактору *работа* — **B46 : I50**.

Таблица 6 — таблица попарных сравнение по фактору *личные предпочтения* — **B54 : L60**.

Таблица 7 — Матрица приоритетов по альтернативам выбора работы — **B68 : K92**.

Таблица 8 — Матрица обобщенных приоритетов (функций полезности) по видам работы — **B100 : L103**.

Для заполнения промежуточных таблиц приоритетов используем следующие формулы: по строкам *Итого* — функцию **СУММ(..)**; для нормализованной матрицы используем отношение значений полной матрицы к итоговым значениям; для вычисления среднего по строке — функцию **СРЗНАЧ(..)**; для расчета весового коэффициента — процедуру композиции, в виде произведения приоритета данного уровня и соответствующего значения приоритета более высокого уровня.

Процедура парного сравнения выполняется для каждой ветви иерархии. Мы имеем одну матрицу парных сравнений из трех элементов второго уровня

(табл. 3 на рис. 11.15) и три матрицы с различным числом элементов на третьем уровне (табл. 4–6 на рис. 11.15, 11.16). Для элементов четвертого уровня строится девять матриц размерностью, равной количеству найденных вариантов работы (все они выполнены в одной таблице — табл. 7 на рис. 9.25, 9.26).

Для того чтобы дать относительную оценку важности каждому компоненту матрицы парных сравнений, последнюю нужно дополнить симметричными дробными оценками — для представления в нормализованном виде — как это представлено на рис. 9.25, 9.26 (нормализованные матрицы по каждой таблице третьего уровня).

Алгоритмы расчета указанных таблиц с формулами вычисления показателей представлены:

- для расчета табл. 3 на рис. 11.15 в табл. 11.32;
- для расчета табл. 4 на рис. 11.15 в табл. 11.33;
- для расчета табл. 5 на рис. 11.16 в табл. 11.34;
- для расчета табл. 6 на рис. 11.16 в табл. 11.35.

Относительная оценка важности получается путем нормализации любого столбца, т. е. делением значения каждого компонента столбца на итог по столбцу.

Таблица 5

полная матрица	нормализованная матрица	среднее по строкам	весовой коэффициент
внх раб	престиж	внх раб	престиж
1	2	0,666667	0,666667
0,5	1	0,333333	0,333333
1,5	3		

Таблица 6

полная матрица	нормализованная матрица	среднее по строкам	весовой коэффициент
место	неделя	отпуск	дистан
1	3	5	2
0,333333	1	2	0,333333
0,2	0,5	1	2
0,5	3	5	1
2,033333	7,5	13	5,333333

Таблица 7

полная матрица	нормализованная матрица	среднее по строкам	весовой коэффициент
место	неделя	отпуск	дистан
1	3	5	2
0,333333	1	2	0,333333
0,2	0,5	1	2
0,5	3	5	1
2,033333	7,5	13	5,333333

Рис. 11.16. Электронные таблицы формирования относительной оценки важности факторов (табл. 5, табл. 6)

Таблица 11.32. Алгоритм расчета обобщенной таблицы парных сравнений (табл. 3 на рис. 11.15)

	Полная матрица			Нормализованная матрица			Среднее по строке
	Вознаграждение	Работа	Личные предпочтения	Вознаграждение	Работа	Личные предпочтения	
Вознаграждение	1	5	9	=C30/C33	=D30/D33	=E30/E33	=СРЗНАЧ(F30:H30)
Работа	=1/D30	1	3	=C31/C33	=D31/D33	=E31/E33	=СРЗНАЧ(F31:H31)
Личные предпочтения	=1/E30	=1/E31	1	=C32/C33	=D32/D33	=E32/E33	=СРЗНАЧ(F32:H32)
Итого	=СУММ(C30:C32)	=СУММ(D30:D32)	=СУММ(E30:E32)				

Таблица 11.33. Алгоритм расчета парных сравнений по фактору вознаграждение (табл. 4 на рис. 11.15)

	Полная матрица			Нормализованная матрица			Среднее по строке	Весовой коэффициент
	Зарплата	Продолжительность	Риск	Зарплата	Продолжительность	Риск		
Зарплата	1	3	5	=C39/C42	=D39/D42	=E39/E42	=СРЗНАЧ(F39:H39)	=139*130
Продолжительность	=1/D39	1	2	=C40/C42	=D40/D42	=E40/E42	=СРЗНАЧ(F40:H40)	=140*130
Риск	=1/E39	=1/E40	1	=C41/C42	=D41/D42	=E41/E42	=СРЗНАЧ(F41:H41)	=141*130
Итого	=СУММ(C39:C41)	=СУММ(D39:D41)	=СУММ(E39:E41)					

Таблица 11.34. Таблица парных сравнений по фактору работа (табл. 5 на рис. 11.16)

	Полная матрица			Нормализованная матрица		Среднее по строке	Весовой коэффициент
	Вид раб	Престиж	2	Вид раб	Престиж		
Вид раб	1			=C48/C50	=D48/D50	=CP3HAЧ(E48:F48)	=H48*I31
Престиж	=1/D48	1		=C49/C50	=D49/D50	=CP3HAЧ(E49:F49)	=H49*I31
Итого	=СУММ (C48:C49)	=СУММ(D48:D49)					

Таблица 11.35. Таблица парных сравнений по фактору личные предпочтения

	Полная матрица				Нормализованная матрица				Среднее по строке	Весовой коэффициент
	Место	Неделя	Отпуск	Дистанция	Место	Неделя	Отпуск	Дистанция		
Место	1	3	5	2	=C56/C60	=D56/D60	=E56/E60	=F56/F60	=CP3HAЧ (G56:I56)	=K56*I32
Неделя	=1/D56	1	2	=1/D59	=C57/C60	=D57/D60	=E57/E60	=F57/F60	=CP3HAЧ (G57:I57)	=K57*I32
Отпуск	=1/E56	=1/E57	1	2	=C58/C60	=D58/D60	=E58/E60	=F58/F60	=CP3HAЧ (G58:I58)	=K58*I32
Дистанция	=1/F56	3	5	1	=C59/C60	=D59/D60	=E59/E60	=F59/F60	=CP3HAЧ (G59:I59)	=K59*I32
Итого	=СУММ (C56:C59)	=СУММ (D56:D59)	=СУММ (E56:E59)	=СУММ (F56:F59)						

Усредняя полученные значения по строкам, мы можем определить значения локальных приоритетов, в сумме дающих так называемый вектор локальных приоритетов. Итак, вектор локальных приоритетов, полученный на основе средних значений, будет иметь вид

$$0,7482 \text{ (вознагр.)} + 0,1804 \text{ (работа)} + 0,0714 \text{ (личные предпочтения)}.$$

Полученные результаты означают, что фактор *вознаграждение* имеет оценку приоритета 0,7482, фактор *работа* — 0,1804, а фактор *личные предпочтения* — 0,0714 относительно глобального критерия. Аналогичные процедуры используются для определения относительных весов элементов следующего уровня иерархии. Например, можно сопоставить факторы **ЗАР**, **ПРОД** и **РИСК**, чтобы определить вектор локальных приоритетов с учетом подчинения фактору *вознаграждение*. Затем результаты вычислений должны быть умножены на 0,7482 (значения локального приоритета фактора *вознаграждение*, вычисленного на предыдущем уровне).

В качестве примера рассмотрим парные сравнения упомянутых факторов, иерархически подчиненных фактору *вознаграждение*. Необходимо дополнить и нормализовать данную матрицу по изложенной выше схеме, после чего получим для нее следующий вектор приоритетов:

$$0,6480 \text{ (ЗАР)} + 0,2299 \text{ (ПРОД)} + 0,1221 \text{ (РИСК)}.$$

Заключительная функция глобального приоритета, полученная с помощью данного метода, выглядит следующим образом:

$$A \times \text{ЗАР} + b \times \text{ПРОД} + c \times \text{МЕСТО} + d \times \text{ВР} + e \times \text{РИСК} + f \times \text{ПРЕС} + g \times \text{НЕД} + h \times \text{ОТП} + i \times \text{ДИСТ}.$$

Относительные веса (приоритеты) *a*, *b*, *c* и т. д. рассчитываются как произведения весов элементов соответствующей иерархической цепочки, ведущей от данного элемента третьего уровня к центральному элементу первого уровня. Значения весовых коэффициентов приведены в табл. 11.36.

Таблица 11.36. Структура приоритетов

Уровень 1	Вознаграждение		
Уровень 2	F_1	F_2	F_5
F_1	1	3	5
F_2	—	1	2
F_5	—	—	1

Так, если вознаграждение составляет 0,7482 от глобального приоритета, а ЗАР — 0,6480 от приоритета *вознаграждение*, то значение весового коэффициента *a* будет вычислено следующим образом:

$$a = 0,7482 \times 0,6480 = 0,4848.$$

Остальные коэффициенты определяются аналогично. В результате проведенных вычислений мы имеем возможность на основе анализа четырех матриц парных сравнений определить значения всех коэффициентов формул. Рассмотрим остальные элементы иерархии. Предположим, что матрица парных сравнений подчиненных элементов по факторам *работа* и *личные предпочтения* выглядит так, как это представлено в табл. 11.37.

Таблица 11.37. Матрица парных сравнений по факторам работа и личные предпочтения

Работа			Личные предпочтения				
	F_4	F_6		F_3	F_7	F_8	F_9
F_4	1	2	F_3	1	3	5	2
F_6	0.5	1	F_7	0,33	1	2	0,33
			F_8	0,2	0,5	1	2
			F_9	0,5	3	5	1
1 парное сравнение $0,66 F_4 + 0,33 F_6$			6 парных сравнений $0,4606 F_3 + 0,1364 F_7 + 0,074 F_8 + 0,328 F_9$				

Чтобы получить значения локальных приоритетов для F_4 и F_6 , мы на основе иерархии определяем, что эти элементы являются подмножеством фактора *работа*, который имеет коэффициент 0,1804 влияния на глобальный критерий. Умножая коэффициенты для **ВР** (F_4) и **ПРЕС** (F_6) на указанную величину, получим 0,1203 для **ВР** и 0,0601 для **ПРЕС**.

Подобные операции выполняются для элементов, являющихся подмножеством фактора *личные предпочтения*. В итоге мы получаем следующую запись:

$$\begin{aligned} \text{ПОЛЕЗНОСТЬ} = & 0,4848 (\text{ЗАР}) + 0,1720 (\text{ПРОД}) + 0,0329 (\text{МЕСТО}) + \\ & + 0,1203 (\text{ВР}) + 0,0914 (\text{РИСК}) + 0,0601 (\text{ПРЕС}) + \\ & + 0,0097 (\text{НЕД}) + 0,0053 (\text{ОТП}) + 0,0235 (\text{ДИСТ}). \end{aligned}$$

Все предыдущие рассуждения не учитывали конкретные варианты найденных мест работы, из которых необходимо сделать выбор. Поскольку изложение доведено до момента, когда логика построения иерархии уже ясна, перейдем к рассмотрению элементов четвертого уровня.

Необходимо дополнительно построить девять матриц парного сравнения (в соответствии с количеством факторов третьего уровня). Размерность этих матриц определяется количеством рассматриваемых альтернатив (в нашем случае трех найденных вариантов работы: А, Б и В). В каждой из этих матриц отражаются суждения о предпочтениях того или иного варианта относительно факторов. Чтобы суждения были более понятны, приведем краткую (в некотором роде условную) характеристику рабочих мест.

Рабочее место А. Это научное учреждение с относительно невысоким уровнем заработной платы, хорошими перспективами продвижения, оно удобно

расположено и находится недалеко от места проживания. Работа творческая, место престижное, с небольшим риском его потери. Режим работы и отдыха нормальный.

Рабочее место Б. Это промышленное предприятие с более высоким уровнем заработной платы, но и с более скромными перспективами продвижения. В транспортном отношении менее удобно. Работа менее творческая, высокий риск увольнения. Режим работы аналогичен предыдущему варианту.

Рабочее место В. Это коммерческая структура с возможностью получения более высокого заработка, чем в вариантах А и Б. Перспективы продвижения неопределенные. Работа связана с разъездами, часто далеко от дома. Характер работы нетворческий, но несколько престижней, чем в варианте Б. Вероятность потери места довольно значительна. Режим работы напряженный.

Полученные локальные приоритеты взвешиваются по значимости факторов, т. е. значение каждого столбца векторов локальных приоритетов (справа от каждой матрицы парных сравнений в табл. 7 на рис. 11.17 и 11.18) умножается на приоритет соответствующего фактора и результаты складываются.

Рассчитаем обобщенный (или глобальный) приоритет для каждой альтернативы, значения которых приведены в таблице на рис. 11.17, 11.18.

Microsoft Excel - sppr1.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно ?

Courier 12 Ж К Ч

K69 =CPЗНАЧ(Н69/Н72;J69/J72)

Таблица 7

Матрица приоритетов по альтернативам выбора работы

ПРИМЕЧАНИЕ: 1. Во избежание провозкости матрицы вычисления приоритетов и формулыСРНАЧ(...) следует сразу же форматировать формулы отклонение клеток уровня оценки к их итоговому значению

	В	С	Д	Е	Г	Г	Н	И	Ж	К	Л
зарплата	А	Б	В	В	приорит	продвиж	А	Б	В	В	приорит
А		1	0,333333	0,2	0,106156	А		1	2	5	0,622246
Б		3	1	0,333333	0,260498	Б		0,333333	1	3	0,260498
В		5	3	1	0,623346	В		0,2	0,333333	1	0,106156
итого		9	4,333333	1,533333		итого		1,533333	4,333333	9	
место	А	Б	В	В	или раб	А	Б	В	В		
А		1	7	5	0,723506	А		1	5	7	0,723506
Б		0,142857	1	0,333333	0,083308	Б		0,2	1	3	0,193186
В		0,2	3	1	0,193186	В		0,142857	0,333333	1	0,083308
итого		1,342857	11	6,333333		итого		1,342857	6,333333	11	
риск	А	Б	В	В	престиж	А	Б	В	В		
А		1	3	9	0,668864	А		1	7	3	0,605294
Б		0,333333	1	5	0,267399	Б		0,142857	1	1	0,124566
В		0,111111	0,2	1	0,069736	В		0,333333	5	1	0,270141
итого		1,444444	4,2	15		итого		1,47619	13	5	

прин_resh1

Готово

Пуск Сеанс MS-D... Microsoft Wor... Проводник - ... Microsoft E... 12:00

Рис. 11.17. Матрица приоритетов по альтернативам (начало)

	Б	С	Д	Е	Г	Г	И	И	Ж	К
72	итого	9	4,333333	1,533333		итого	1,533333	4,333333	9	
73	место	А	Б	В		мат. раб	А	Б	В	
74	А	1	7	5	0,723506	А	1	5	7	0,723506
75	Б	0,142857	1	0,333333	0,083308	Б	0,2	1	3	0,193186
76	В	0,2	3	1	0,193186	В	0,142857	0,333333	1	0,083308
77	итого	1,342857	11	6,333333		итого	1,342857	6,333333	11	
78	риски	А	Б	В		материал	А	Б	В	
79	А	1	3	9	0,668864	А	1	7	3	0,605294
80	Б	0,333333	1	5	0,267399	Б	0,142857	1	1	0,124566
81	В	0,111111	0,2	1	0,067356	В	0,333333	5	1	0,270141
82	итого	1,444444	4,2	15		итого	1,47619	13	5	
83	материал	А	Б	В		отпуск	А	Б	В	
84	А	1	3	5	0,633346	А	1	1	3	0,428571
85	Б	0,333333	1	3	0,260498	Б	1	1	3	0,428571
86	В	0,2	0,333333	1	0,106156	В	0,333333	0,333333	1	0,142857
87	итого	1,533333	4,333333	9		итого	2,333333	2,333333	7	
88	мат. раб	А	Б	В						
89	А	1	7	9	0,776592					
90	Б	0,142857	1	3	0,154898					
91	В	0,111111	0,333333	1	0,06851					
92	итого	1,253956	8,333333	13						

Рис. 11.18. Матрица приоритетов по альтернативам (конец)

$$0,1061+0,4848 + \dots + 0,7766+0,0235 = 0,3978;$$

$$0,2605+0,4848 + \dots + 0,1549+0,0235 = 0,2342;$$

$$0,6335+0,4848 + \dots + 0,0685+0,0235 = 0,3680.$$

Вектор обобщенных приоритетов, таким образом, равен

$$0,3978 \text{ А} + 0,2342 \text{ Б} + 0,3680 \text{ В}.$$

Из приведенного примера следует, что наиболее желательным вариантом работы, имеющим наибольший общий приоритет (0,3978), является рабочее место А. В результате мы имеем не только ранжирование рабочих мест (А, Б, В), но и значение приоритета, отражающего полезность каждой альтернативы (рис. 11.19, 11.20).

Матрица приоритетов по альтернативам выбора работы достаточно велика, поэтому во избежание громоздкости формул для вычисления приоритетов в формуле **СРЗНАЧ(..)** необходимо сразу записывать отношения ячейки уровня оценки к их итоговому значению (на рис. 11.17, 11.18 табл. 7 с адресами **B88 : F92**).

Microsoft Excel - gl8_4.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно ?

Courier 12 Ж К Ч

F110 = =МАКС(L101:L103)

Таблица 8

Матрица обобщенных приоритетов (функций полезности) по видам работы

ПРИМЕЧАНИЕ: 1. Приоритеты по каждому виду работ (табл.7) умножаем на приоритеты по каждому фактору полезности

2. Полученные приоритеты суммируются по каждому виду работы

	зарплата	место	риск	неделя	дистанц	продвиж	вид раб	престиж	отпу
101 А	0,051461	0,021337	0,061142	0,005809	0,016892	0,108924	0,087015	0,036399	0,0
102 Б	0,126282	0,002457	0,024444	0,002389	0,003369	0,044801	0,023234	0,007491	0,0
103 В	0,307028	0,005697	0,005826	0,000974	0,00149	0,018257	0,010019	0,016245	0,0

Для выбора оптимального варианта используется стратегия максимизации функции полезности по сумме приоритетов $\max(F_A, F_B, F_C)$

107 $\text{МАКС}(\text{СУММ}(f_z, f_m, f_p, f_n, f_d, f_{fp}, f_v, f_{fp}, f_o)(A); \text{СУММ}(f_z, f_m, f_p, f_n, f_d, f_{fp}, f_v, f_{fp}, f_o)(B); \text{СУММ}(f_z, f_m, f_p, f_n, f_d, f_{fp}, f_v, f_{fp}, f_o)(C))$

108 На основании данной стратегии, наиболее желательный (оптимальный) вариант работы характеризуется значением обобщенной функции полезности, равной

110 $Y_{opt} = 0,393702$

111 Что соответствует варианту А, то $F_{opt} = F_A$

112

прин_resh1

Рис. 11.19. Обобщенные приоритеты по видам работ (начало)

Microsoft Excel - gl8_4.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно ?

Courier 12 Ж К Ч

L103 = =СУММ(C103:K103)

Таблица 8

приоритет (функций полезности) по видам работы

каждому виду работ (табл.7) умножаем на приоритеты по фактору полезности

полученные приоритеты суммируются по каждому виду работы

	риск	неделя	дистанц	продвиж	вид раб	престиж	отпуск	итого
101	0,061142	0,005809	0,016892	0,108924	0,087015	0,036399	0,004722	0,393702
102	0,024444	0,002389	0,003369	0,044801	0,023234	0,007491	0,004722	0,239188
103	0,005826	0,000974	0,00149	0,018257	0,010019	0,016245	0,001574	0,367111

варианта используется стратегия максимизации функции полезности по сумме приоритетов $\max(F_A, F_B, F_C)$

107 $\text{МАКС}(\text{СУММ}(f_z, f_m, f_p, f_n, f_d, f_{fp}, f_v, f_{fp}, f_o)(A); \text{СУММ}(f_z, f_m, f_p, f_n, f_d, f_{fp}, f_v, f_{fp}, f_o)(B); \text{СУММ}(f_z, f_m, f_p, f_n, f_d, f_{fp}, f_v, f_{fp}, f_o)(C))$

108 На основании данной стратегии, наиболее желательный (оптимальный) вариант работы характеризуется значением обобщенной функции полезности, равной

110 $Y_{opt} = 0,393702$

111 Что соответствует варианту А, то $F_{opt} = F_A$

112

прин_resh1

Рис. 11.20. Обобщенные приоритеты по видам работ (конец)

Расчет обобщенных приоритетов проводится по каждому виду работы по следующему алгоритму: приоритеты по каждому виду работы умножаются на приоритеты по каждому фактору полезности. Полученные значения суммируются по каждому виду работы.

Для выявления наиболее желательного варианта работы выбирается стратегия максимизации функции полезности:

$$Y_{\text{opt}} = \max (F_A, F_B, F_V) = \max (0,39; 0,24; 0,37) = 0,39,$$

где F_A, F_B, F_V — суммарные приоритеты для рабочих мест А, Б и В, получаемые в виде суммы локальных приоритетов (локальных функций полезности) и вычисляемые с помощью функции **=СУММ(..)**. Реализация их в ячейках **L101 : L103**:

в ячейке **L101** формула **=СУММ(C101:K101)**;

в ячейке **L102** формула **=СУММ(C102:K102)**;

в ячейке **L103** формула **=СУММ(C103:K103)**

дают соответствующие результаты — 0,393 702; 0,239 188; 0,367 11.

Для реализации стратегии выбора используется принцип максимизации обобщенного приоритета. Выбор осуществляется на основании формулы, введенной в ячейке **F110**:

=МАКС(СУММ(C101:K101);СУММ(C102:K102);СУММ(C103:K103),

или, используя уже вычисленные в ячейках **L101 : L103** обобщенные приоритеты:

=МАКС(L101:L103)

в той же ячейке.

Использование этой стратегии дает максимальное значение, равное 0,39 (точное значение 0,393 702), что соответствует стратегии А. Таким образом, в качестве оптимального можно рекомендовать выбрать решение А. Данные для процедуры выбора приведены в табл. 8 на рис. 11.20.

Алгоритм решения задачи в среде Excel приведен в табл. 11.38, 11.39. При этом в табл. 11.38 описан алгоритм формирования табл. 7 на рис. 11.17, 11.18.

Расчет табл. 8 на рис. 11.19, 11.20 проводится по формулам, приведенным в алгоритме расчета в табл. 11.39.

Электронная таблица алгоритма расчета табл. 7 и 8 приведена на рис. 11.21.

Таблица 11.38. Матрица приоритетов по альтернативам выбора работы

Зарплата	А	Б	В	Приорит
А	1	=1/3	=1/5	=СРЗНАЧ(С69/С72;D69/Д72;Е69/Е72)
Б	3	1	=1/3	=СРЗНАЧ(С70/С72;D70/Д72;Е70/Е72)
В	5	3	1	=СРЗНАЧ(С71/С72;D71/Д72;Е71/Е72)
Итого	=СУММ (С69:С71)	=СУММ (D69:Д71)	=СУММ (Е69:Е71)	

Таблица 11.38 (окончание)

<i>Место</i>	<i>А</i>	<i>Б</i>	<i>В</i>	
<i>А</i>	1	7	5	=CPЗНАЧ(C74/C77;D74/D77;E74/E77)
<i>Б</i>	=1/7	1	=1/3	=CPЗНАЧ(C75/C77;D75/D77;E75/E77)
<i>В</i>	=1/5	3	1	=CPЗНАЧ(C76/C77;D76/D77;E76/E77)
Итого	=СУММ (C74:C76)	=СУММ (D74:D76)	=СУММ (E74:E76)	
<i>Риск</i>	<i>А</i>	<i>Б</i>	<i>В</i>	
<i>А</i>	1	3	9	=CPЗНАЧ(C79/C82;D79/D82;E79/E82)
<i>Б</i>	=1/3	1	5	=CPЗНАЧ(C80/C82;D80/D82;E80/E82)
<i>В</i>	=1/9	=1/5	1	=CPЗНАЧ(C81/C82;D81/D82;E81/E82)
Итого	=СУММ (C79:C81)	=СУММ (D79:D81)	=СУММ (E79:E81)	
<i>Неделя</i>	<i>А</i>	<i>Б</i>	<i>В</i>	
<i>А</i>	1	3	5	=CPЗНАЧ(C84/C87;D84/D87;E84/E87)
<i>Б</i>	=1/3	1	3	=CPЗНАЧ(C85/C87;D85/D87;E85/E87)
<i>В</i>	=1/5	=1/3	1	=CPЗНАЧ(C86/C87;D86/D87;E86/E87)
Итого	=СУММ (C84:C86)	=СУММ (D84:D86)	=СУММ (E84:E86)	
<i>Дистанция</i>	<i>А</i>	<i>Б</i>	<i>В</i>	
<i>А</i>	1	7	9	=CPЗНАЧ(C89/C92;D89/D92;E89/E92)
<i>Б</i>	=1/7	1	3	=CPЗНАЧ(C90/C92;D90/D92;E90/E92)
<i>В</i>	=1/9	=1/3	1	=CPЗНАЧ(C91/C92;D91/D92;E91/E92)
Итого	=СУММ (C89:C91)	=СУММ (D89:D91)	=СУММ (E89:E91)	
<i>Продви- жение</i>	<i>А</i>	<i>Б</i>	<i>В</i>	<i>приорит</i>
<i>А</i>	1	3	5	=CPЗНАЧ(H69/H72;I69/I72;J69/J72)
<i>Б</i>	=1/3	1	3	=CPЗНАЧ(H70/H72;I70/I72;J70/J72)
<i>В</i>	=1/5	=1/3	1	=CPЗНАЧ(H71/H72;I71/I72;J71/J72)
Итого	=СУММ (H69:H71)	=СУММ (I69:I71)	=СУММ (J69:J71)	
<i>Вид раб</i>	<i>А</i>	<i>Б</i>	<i>В</i>	
<i>А</i>	1	5	7	=CPЗНАЧ(H74/H77;I74/I77;J74/J77)
<i>Б</i>	=1/5	1	3	=CPЗНАЧ(H75/H77;I75/I77;J75/J77)
<i>В</i>	=1/7	=1/3	1	=CPЗНАЧ(H76/H77;I76/I77;J76/J77)
Итого	=СУММ (H74:H76)	=СУММ (I74:I76)	=СУММ (J74:J76)	
<i>Престиж</i>	<i>А</i>	<i>Б</i>	<i>В</i>	
<i>А</i>	1	7	3	=CPЗНАЧ(H79/H82;I79/I82;J79/J82)
<i>Б</i>	=1/7	1	1	=CPЗНАЧ(H80/H82;I80/I82;J80/J82)
<i>В</i>	=1/3	5	1	=CPЗНАЧ(H81/H82;I81/I82;J81/J82)
Итого	=СУММ (H79:H81)	=СУММ (I79:I81)	=СУММ (J79:J81)	
<i>Отпуск</i>	<i>А</i>	<i>Б</i>	<i>В</i>	
<i>А</i>	1	1	3	=CPЗНАЧ(H84/H87;I84/I87;J84/J87)
<i>Б</i>	1	1	3	=CPЗНАЧ(H85/H87;I85/I87;J85/J87)
<i>В</i>	=1/3	=1/3	1	=CPЗНАЧ(H86/H87;I86/I87;J86/J87)
Итого	=СУММ (H84:H86)	=СУММ (I84:I86)	=СУММ (J84:J86)	

Microsoft Excel - ОБ-1-2025 (Глобальное)

Файл Вид Вставка Ссылки Данные Программные кнопки панели задач Кнопки панели быстрого запуска

Введите текст

12 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114

Итого

1115

1116

1117

1118

1119

1120

1121

1122

1123

1124

1125

1126

1127

1128

1129

1130

1131

1132

1133

1134

1135

1136

1137

1138

1139

1140

1141

1142

1143

1144

1145

1146

1147

1148

1149

1150

1151

1152

1153

1154

1155

1156

1157

1158

1159

1160

1161

1162

1163

1164

1165

1166

1167

1168

1169

1170

1171

1172

1173

1174

1175

1176

1177

1178

1179

1180

1181

1182

1183

1184

1185

1186

1187

1188

1189

1190

1191

1192

1193

1194

1195

1196

1197

1198

1199

1200

1201

1202

1203

1204

1205

1206

1207

1208

1209

1210

1211

1212

1213

1214

1215

1216

1217

1218

1219

1220

1221

1222

1223

1224

1225

1226

1227

1228

1229

1230

1231

1232

1233

1234

1235

1236

1237

1238

1239

1240

1241

1242

1243

1244

1245

1246

1247

1248

1249

1250

1251

1252

1253

1254

1255

1256

1257

1258

1259

1260

1261

1262

1263

1264

1265

1266

1267

1268

1269

1270

1271

1272

1273

1274

1275

1276

1277

1278

1279

1280

1281

1282

1283

1284

1285

1286

1287

1288

1289

1290

1291

1292

1293

1294

1295

1296

1297

1298

1299

1300

1301

1302

1303

1304

1305

1306

1307

1308

1309

1310

1311

1312

1313

1314

1315

1316

1317

1318

1319

1320

1321

1322

1323

1324

1325

1326

1327

1328

1329

1330

1331

1332

1333

1334

1335

1336

1337

1338

1339

1340

1341

1342

1343

1344

1345

1346

1347

1348

1349

1350

1351

1352

1353

1354

1355

1356

1357

1358

1359

1360

1361

1362

1363

1364

1365

1366

1367

1368

1369

1370

1371

1372

1373

1374

1375

1376

1377

1378

1379

1380

1381

1382

1383

1384

1385

1386

1387

1388

1389

1390

1391

1392

1393

1394

1395

1396

1397

1398

1399

1400

1401

1402

1403

1404

1405

1406

1407

1408

1409

1410

1411

1412

1413

1414

1415

1416

1417

1418

1419

1420

1421

1422

1423

1424

1425

1426

1427

1428

1429

1430

1431

1432

1433

1434

1435

1436

1437

1438

1439

1440

1441

1442

1443

1444

1445

1446

1447

1448

1449

1450

1451

1452

1453

1454

1455

1456

1457

1458

1459

1460

1461

1462

1463

1464

1465

1466

1467

1468

1469

1470

1471

1472

1473

1474

1475

1476

1477

1478

1479

Рис. 11.21. Электронная таблица алгоритма расчета табл. 7 и 8

Таблица 11.39. Матрица обобщенных приоритетов (функций полезности) по видам работы

	Зарплата	Место	Риск	Неделя	Дистанц	Продвиж	Вид раб	Престиж	Отпуск	Итого
А	= F69*J39 = F70*J39	= F74*L56 = F75*L56	= F79*J41 = F80*J41	= F84*L57 = F85*L57	= F89*L59 = F90*L59	= K69*J40 = K70*J40	= K74*I48 = K75*I48	= K79*I49 = K80*I49	= K84*L58 = K85*L58	= СУММ(С101:К101) = СУММ(С102:К102)
В	= F71*J39	= F76*L56	= F81*J41	= F86*L57	= F91*L59	= K71*J40	= K76*I48	= K81*I49	= K86*L58	= СУММ(С103:К103)

Глава 12. ПРИМЕРЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКОЙ КРИТЕРИЕВ

12.1. Решение примера 1

Рассмотрим примеры решения задачи такого типа.

Пример 12.1. Рассмотрим проблему выбора наиболее приемлемого варианта получения высшего образования по критерию полезности. Хотя список факторов, принимаемых во внимание каждым индивидуумом, может быть существенно различным, имеется ряд достаточно общих. Критерии выбора приведены в табл. 12.1.

Таблица 12.1. Набор критериев выбора по задаче

Критерий выбора	Содержание фактора
ОПЛ	Оплата за учебу
ПО	Продолжительность обучения
МЕСТО	Месторасположение
ВПО	Возможность продолжения образования
ГТ	Гарантия трудоустройства
ШВС	Широкий выбор специальностей
ПИ	Престиж института
ДИСТ	Удаленность от дома
ФО	Форма обучения

С помощью метода МАИ определим относительную важность каждого варианта обучения с учетом вышеперечисленных факторов (критериев выбора). Рассмотрим возможную структуру критериев (рис. 12.1).

Структура альтернатив представляет собой дерево, состоящее из трех уровней:

- общая полезность альтернативы (первый уровень);
- групповые критерии (возможности; параметры обучения; личные предпочтения) (второй уровень);
- локальные критерии (третий уровень).

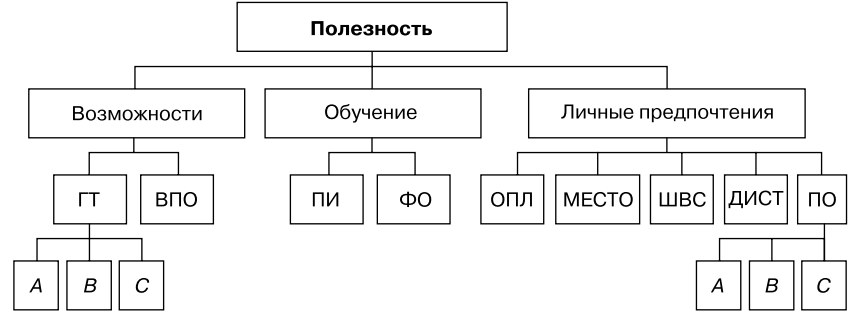


Рис. 12.1. Структуризация пространства критериев выбора

Процедура сравнения выполняется для каждой ветви иерархии представленного дерева. Для парного сравнения критериев строим матрицы по каждой ветви дерева альтернатив.

То есть строим матрицы парных сравнений из трех элементов второго уровня и три матрицы с различным числом элементов — для третьего уровня. Для элементов четвертого уровня строим девять матриц с размерностью, равной количеству сформулированных допустимых вариантов решения.

Строим матрицу парного сравнения с учетом лингвистических оценок (табл. 12.2).

Таблица 12.2. Матрица парного сравнения

Уровень 1	Полезность		
Уровень 2	Возможности	Обучение	Личные предпочтения
Возможности	1	3	7
Обучение		1	5
Личные предпочтения			1

Для того чтобы дать относительную оценку важности каждому компоненту матрицы парного сравнения, матрица дополняется симметричными дробными оценками (табл. 12.3).

Таблица 12.3. Относительная оценка важности

Уровень 1	Полезность		
Уровень 2	Возможности	Обучение	Личные предпочтения
Возможности	1	3	7
Обучение	0,3333	1	5
Личные предпочтения	0,1429	0,2	1

Относительная оценка важности получается путем нормализации любого столбца. Усредняя полученные значения по строкам, мы можем определить значения локальных приоритетов (табл. 12.4).

Таблица 12.4. Обобщенная таблица приоритетов

	Полная матрица			Нормализованная матрица			Среднее по строке
	Возможности	Обучение	Личные предпочтения	Возможности	Обучение	Личные предпочтения	
Возможности	1	3	7	0,6774	0,7143	0,5385	0,6434
Обучение	0,3333	1	5	0,2258	0,2381	0,3846	0,2828
Личные предпочтения	0,1429	0,2	1	0,0968	0,0476	0,0769	0,0738
ИТОГО:	1,4762	4,2	13				

Итак, вектор локальных приоритетов, полученных на основе средних значений, будет иметь вид

$0,6434$ (возможности) + $0,2828$ (обучение) + $0,0738$ (личные предпочтения).

Аналогичные процедуры используются для определения относительных весов элементов следующего иерархического уровня.

Функция глобального приоритета выглядит следующим образом:

$$a \times \text{ГТ} + b \times \text{ВПО} + c \times \text{ПИ} + d \times \text{ФО} + e \times \text{ОПЛ} + f \times \text{МЕСТО} + g \times \text{ШВС} + h \times \text{ДИСТ} + i \times \text{ПО}.$$

Относительные веса (приоритеты) при этом рассчитываются как произведения весов элементов соответствующей иерархической цепочки, ведущей от данного элемента третьего уровня к центральному элементу первого уровня.

Определим парные сравнения для фактора *возможности* (табл. 12.5).

Таблица 12.5. Структура приоритетов фактора *возможности*

Уровень 1	Возможности	
Уровень 2	ГТ	ВПО
ГТ	1	4
ВПО		1

Относительная оценка важности по данному фактору получается путем нормализации полученных значений функции приоритета. Усредняя полученные значения по строкам, мы можем определить значения локальных приоритетов (табл. 12.6).

Таблица 12.6. Обобщенная матрица полных сравнений

	Полная матрица		Нормализованная матрица		Среднее по строке
	ГТ	ВПО	ГТ	ВПО	
ГТ	1	4	0,8333	0,6667	0,7500
ВПО	0,3	1	0,2083	0,1667	0,1875
ИТОГО	1,25	5			

Так, если *возможности* составляют 0,6434 от глобального приоритета, а ГТ – 0,75 от приоритета *возможности*, то значение весового коэффициента *a* будет вычислено таким образом:

$$a = 0,6434 \times 0,75 = 0,4825.$$

Остальные весовые коэффициенты определяются аналогично.

Для оценки фактора *обучение* получаем таблицу полных сравнений (табл. 12.7).

Таблица 12.7. Матрица парных сравнений по фактору *обучение*

	Полная матрица		Нормализованная матрица		Среднее по строке
	ПИ	ФО	ПИ	ФО	
ПИ	1	2	0,6667	0,6667	0,6667
ФО	0,5	1	0,3333	0,3333	0,3333
ИТОГО	1,5	3			

Для оценки фактора *личные предпочтения* получаем таблицу полных сравнений (табл. 12.8).

Таблица 12.8. Матрица парных сравнений по фактору *личные предпочтения*

Уровень 1	Полная матрица					Нормализованная матрица					Среднее по строке
Уровень 2	ОПЛ	МЕСТО	ШВС	ДИСТ	ПО	ОПЛ	МЕСТО	ШВС	ДИСТ	ПО	
ОПЛ	1	6	4	3	2	0,4444	0,6102	0,3243	0,4444	0,2353	0,4117
МЕСТО	0,1667	1	3	2	0,5	0,0741	0,1017	0,2432	0,2963	0,0588	0,1548
ШВС	0,2500	0,3333	1	0,25	3	0,1111	0,0339	0,0811	0,0370	0,3529	0,1232
ДИСТ	0,3333	0,5	4	1	2	0,1481	0,0508	0,3243	0,1481	0,2353	0,1814
ПО	0,5000	2	0,3333	0,5	1	0,2222	0,2034	0,0270	0,0741	0,1176	0,1289
ИТОГО	2,25	9,8333	12,3333	6,75	8,5						

В итоге мы получим следующее правило выбора:

$$\begin{aligned}
 \text{ПОЛЕЗНОСТЬ} &= 0,4825 \text{ ГТ (гарантия трудоустройства)} + \\
 &+ 0,1206 \text{ ВПО (возможность продолжения образования)} + \\
 &+ 0,1886 \text{ ПИ (престиж института)} + \\
 &+ 0,0943 \text{ ФО (форма обучения)} + \\
 &+ 0,0304 \text{ ОПЛ (оплата за учебу)} + \\
 &+ 0,0114 \text{ МЕСТО (месторасположение)} + \\
 &+ 0,0091 \text{ ШВС (широкий выбор специальностей)} + \\
 &+ 0,0134 \text{ ДИСТ (удаленность от дома)} + \\
 &+ 0,0095 \text{ ПО (продолжительность обучения)}.
 \end{aligned}$$

Все предыдущие рассуждения не учитывали конкретные варианты найденных учебных заведений, из которых необходимо сделать выбор.

Учебное заведение А. Государственный университет с относительно невысокой платой за обучение, с возможностями продолжения образования (второе высшее, аспирантура) гарантирует трудоустройство лучших выпускников. Широкий выбор специальностей, две формы обучения (очная и вечерняя), продолжительность обучения пять лет. В транспортном отношении не очень удобен.

Учебное заведение В. Институт коммерческий, с более высокой платой, предоставляет возможность дальнейшего обучения (второе высшее), узкая специализация, две формы обучения (очная и заочная), продолжительность обучения 4,5–5 лет. Близко от дома, расположен удобно.

Учебное заведение С. Государственная академия международного класса с высокой оплатой за обучение, предоставляет широкий выбор специальностей, две формы обучения (очная и заочная), продолжительность обучения 5–6 лет. Академия имеет статус престижного учебного заведения, выпускники которой добились высоких результатов. Распределение самостоятельное.

Полученные локальные приоритеты работы взвешиваются по значимости факторов, т. е. каждый столбец векторов локальных приоритетов умножается на приоритет соответствующего фактора и результаты складываются. Матрица вычисления приоритетов альтернатив представлена в табл. 12.9.

Вектор обобщенных приоритетов формирует следующее решающее правило:

$$0,4642A + 0,1692B + 0,3264C.$$

Из приведенного примера следует, что наиболее желательным вариантом учебного заведения, имеющим наибольший общий приоритет (0,4642), является учебное заведение А.

12.2. Решение примера 2

Пример 12.2. Проблемная ситуация: в связи с расширением штата сотрудников отдела маркетинга предприятию необходимо закупить компьютерную технику. Компьютеры должны соответствовать необходимым техническим требованиям, при этом ценовые параметры не менее важны, чем технические.

Критерии отбора:

1. Диагональ монитора.
2. Оперативная память.
3. Процессор.
4. Жесткий диск.
5. Гарантия.
6. Сервисный центр.
7. Стоимость.
8. Стоимость ремонта.

Данные факторы определим в группы, которые будут являться альтернативными вариантами:

Таблица 12.9. Матрица приоритетов по альтернативам

ОПЛ	А	В	С	Приоритет
А	1	3	5	0,6334
В	0,3333	1	3	0,2605
С	0,2	0,3333	1	0,1062
ПО	А	В	С	
А	1	0,3333	3	0,2605
В	3	1	5	0,6334
С	0,3333	0,2	1	0,1062
МЕСТО	А	В	С	
А	1	0,3333	3	0,2605
В	3	1	5	0,6334
С	0,3333	0,2	1	0,1062
ВПО	А	В	С	
А	1	3	5	0,6334
В	0,3333	1	3	0,2605
С	0,2	0,3333	1	0,1062
ГТ	А	В	С	
А	1	5	3	0,6334
В	0,2	1	0,3333	0,1062
С	0,3333	3	1	0,2605
ШВС	А	В	С	
А	1	5	1	0,4545
В	0,2	1	0,2	0,0909
С	1	5	1	0,4545
ПИ	А	В	С	
А	1	3	0,2	0,1932
В	0,3333	1	0,1429	0,0833
С	5	7	1	0,7235
ДИСТ	А	В	С	
А	1	0,3333	3	0,2605
В	3	1	5	0,6334
С	0,3333	0,2	1	0,1062
ФО	А	В	С	
А	1	0,3333	0,3333	0,1429
В	3	1	1	0,4286
С	3	1	1	0,4286

А. Технические параметры.

В. Обслуживание.

С. Ценовые параметры.

Иерархическая схема критериев представлена на рис. 12.2.

Сформируем оценку относительной важности факторов на каждом уровне иерархии, используя метод парных сравнений субъективных суждений, отражающих оценку важности факторов, в соответствии с критериями выбора (табл. 12.10).

При решении задач лексикографическим методом критерии ранжируются по степени важности таким образом, чтобы индекс 1 (ранг) приписывался наи-

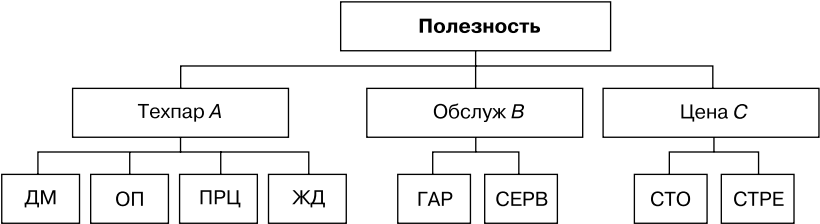


Рис. 12.2. Структура критериального пространства задачи 2

Таблица 12.10. Таблица значений уровня оценки факторов

Уровень	Содержание уровня оценки
1	Приблизительно равная важность факторов
3	Умеренное превосходство одного над другим
5	Существенное превосходство одного над другим
7	Значительное превосходство одного над другим
9	Подавляющее превосходство одного над другим

более важному критерию. Сама матрица сравнений для фактора *полезность* показана в табл. 12.11.

Таблица 12.11. Матрица парного сравнения

Уровень 1	Полезность		
Уровень 2	Технические параметры	Обслуживание	Ценовые параметры
Технические параметры	1	5	3
Обслуживание		1	7
Ценовые параметры			1

Для того чтобы дать относительную оценку важности каждому компоненту матрицы парных сравнений, матрицы дополняются симметричными дробными оценками (табл. 12.12).

Таблица 12.12. Относительная оценка важности фактора *полезность*

Уровень 1	Полезность		
Уровень 2	Технические параметры	Обслуживание	Ценовые параметры
Технические параметры	1	5	3
Обслуживание	1/5	1	7
Ценовые параметры	1/3	1/7	1

Обобщенная таблица приоритетов приведена в табл. 12.13.

Таблица 12.13. Обобщенная таблица приоритетов

	Полная матрица		
	Технические параметры	Обслуживание	Ценовые параметры
Технические параметры	1	5	3
Обслуживание	0,2	1	7
Ценовые параметры	0,33	0,14	1
ИТОГО:	1,53	6,14	11

Усредняя полученные значения по строкам, можно определить значения локальных приоритетов, в сумме дающих вектор локальных приоритетов (табл. 12.14).

Таблица 12.14. Обобщенная таблица приоритетов

Нормализованная матрица		
Технические параметры	Обслуживание	Ценовые параметры
0,6522	0,8140	0,2727
0,1304	0,1628	0,6364
0,2174	0,0233	0,0909

Таким образом, вектор локальных приоритетов, полученный на основе средних значений, будет иметь вид:

$$0,5796 \text{ (техпр)} + 0,3099 \text{ (обсл)} + 0,1105 \text{ (ценпр)}.$$

Оценки приоритета:

Технические параметры А	0,5796
Обслуживание В	0,3099
Ценовые параметры С	0,1105

Проведем аналогичные процедуры для определения относительных весов следующих элементов иерархии:

1) ДМ, ОП, ПРЦ, ЖД, с тем чтобы определить вектор локальных приоритетов с учетом подчинения фактору *технические параметры* (табл. 12.15–12.18).

Таблица 12.15. Матрица парного сравнения по фактору *технические параметры*

Уровень 2	Технические параметры			
Уровень 3	ДМ	ОП	ПРЦ	ЖД
ДМ	1	3	7	5
ОП		1	5	3
ПРЦ			1	3
ЖД				1

Таблица 12.16. Относительная оценка важности

Уровень 2	Технические параметры			
Уровень 3	ДМ	ОП	ПРЦ	ЖД
ДМ	1	3	7	5
ОП	0,3333	1	5	3
ПРЦ	0,1	0,2	1	3
ЖД	0,2000	0,3333	0,3333	1

Таблица 12.17. Обобщенная матрица приоритетов

Уровень 2	Полная матрица			
Уровень 3	ДМ	ОП	ПРЦ	ЖД
ДМ	1	3	7	5
ОП	0,3333	1	5	3
ПРЦ	0,142857	0,2000	1	3
ЖД	0,2000	0,3	0,333	1
ИТОГО:	1,6762	4,5333	13,333	12

Таблица 12.18. Матрица парных сравнений по фактору *технические параметры*

Нормализованная матрица				Среднее по строке
ДМ	ОП	ПРЦ	ЖД	
0,5966	0,6618	0,5250	0,4167	0,5500
0,1989	0,2206	0,3750	0,2500	0,2611
0,0852	0,0441	0,0750	0,2500	0,1136
0,1193	0,0735	0,0250	0,0833	0,0753

Вектор локальных приоритетов будет иметь вид:

$$0,55 \text{ (ДМ)} + 0,2611 \text{ (ОП)} + 0,1136 \text{ (ПРЦ)} + 0,0753 \text{ (ЖД)}.$$

Оценки приоритетов:

ДМ	0,55
ОП	0,2611
ПРЦ	0,1136
ЖД	0,0753

Весовой приоритет:

$$a = 0,5796 \times 0,55 = 0,3188; b = 0,5796 \times 0,2611 = 0,1513; c = 0,5796 \times 0,1136 = 0,0658; d = 0,5796 \times 0,0753 = 0,0436;$$

2) ГАР, СЕРВ с учетом подчинения фактору *обслуживание* представлено в табл. 12.19–12.22.

Таблица 12.19. Структура приоритетов фактора *возможности*

Уровень 2	Обслуживание	
Уровень 3	ГАР	СЕРВ
ГАР	1	3
СЕРВ		1

Таблица 12.20. Относительная оценка важности

Уровень 2	Обслуживание	
Уровень 3	ГАР	СЕРВ
ГАР	1	3
СЕРВ	0,3333	1

Таблица 12.21. Обобщенная матрица приоритетов

Уровень 2	Полная матрица		Нормализованная матрица		Среднее по строке
Уровень 3	ГАР	СЕРВ	ГАР	СЕРВ	
ГАР	1	3	0,7500	0,7500	0,7500
СЕРВ	0,3333	1	0,2500	0,2500	0,2500
ИТОГО:	1,3333	4,0000			

Вектор локальных приоритетов:

$$0,75 \text{ (ГАР)} + 0,25 \text{ (СЕРВ)}.$$

Таблица 12.22. Оценки приоритетов

ГАР	0,75
СЕРВ	0,25

Весовой приоритет:

$$e = 0,3099 \times 0,75 = 0,2324, f = 0,3099 \times 0,25 = 0,0775.$$

3) СТОИМ, СТРЕМ с учетом подчинения фактору *ценовые параметры* (табл. 12.22, 12.23).

Таблица 12.23. Матрица парного сравнения по фактору *ценовые параметры*

Уровень 2	Ценовые параметры	
Уровень 3	СТОИМ	СТРЕМ
СТОИМ	1	5
СТРЕМ		1

Таблица 12.24. Относительная оценка важности

Уровень 2	Ценовые параметры	
Уровень 3	СТОИМ	СТРЕМ
СТОИМ	1	5
СТРЕМ	0,2000	1

Таблица 12.25. Обобщенная матрица приоритетов

Уровень 2	Полная матрица		Нормализованная матрица		Среднее по строке
Уровень 3	СТОИМ	СТРЕМ	СТОИМ	СТРЕМ	
СТОИМ	1	5	0,8333	0,8333	0,8333
СТРЕМ	0,2000	1	0,1667	0,1667	0,1667
ИТОГО:	1,2000	6,0000			

Вектор локальных приоритетов:

$$0,8333 \text{ (СТОИМ)} + 0,1667 \text{ (СТРЕМ)}.$$

Оценки приоритетов:

СТОИМ	0,8333
СТРЕМ	0,1667

Весовой приоритет:

$$k = 0,1105 \times 0,8333 = 0,0921, l = 0,1105 \times 0,1667 = 0,0184.$$

Заключительная функция глобального приоритета, полученная с помощью данного метода, выглядит следующим образом:

$$a \times \text{ДМ} + b \times \text{ОП} + c \times \text{ПРЦ} + d \times \text{ЖД} + e \times \text{ГАР} + f \times \text{СЕРВ} + k \times \text{СТОИМ} + l \times \text{СТР}.$$

Для дальнейшей оценки необходимо взвесить выбранные альтернативы по значимости факторов. Строим 8 матриц парного сравнения. Размерность этих матриц определяется количеством рассматриваемых альтернатив. В каждой из этих матриц отражаются суждения о предпочтениях того или иного варианта относительно факторов (табл. 12.26).

Таблица 12.26. Матрица приоритетов по альтернативам

ДМ	А	В	С	Нормализованная матрица			Приоритет
А	1,00	5,00	3,00	0,652174	0,813953	0,272727	0,5796
В	0,20	1,00	7,00	0,1304	0,1628	0,6364	0,3099
С	0,33	0,14	1,00	0,217391	0,023256	0,090909	0,1105
ОП	А	В	С	Нормализованная матрица			Приоритет
А	1,00	3,00	5,00	0,652174	0,724138	0,384615	0,5870
В	0,33	1,00	7,00	0,2174	0,2414	0,5385	0,3324
С	0,20	0,14	1,00	0,130435	0,034483	0,076923	0,0806
ПРЦ	А	В	С	Нормализованная матрица			Приоритет
А	1,00	9,00	3,00	0,692308	0,882353	0,333333	0,6360
В	0,11	1,00	5,00	0,0769	0,0980	0,5556	0,2435
С	0,33	0,20	1,00	0,230769	0,019608	0,111111	0,1205
ЖД	А	В	С	Нормализованная матрица			Приоритет
А	1,00	7,00	3,00	0,677419	0,853659	0,333333	0,6215
В	0,14	1,00	5,00	0,0968	0,1220	0,5556	0,2581
С	0,33	0,20	1,00	0,225806	0,02439	0,111111	0,1204
ГАР	А	В	С	Нормализованная матрица			Приоритет
А	1,00	3,00	9,00	0,692308	0,724138	0,529412	0,6486
В	0,33	1,00	7,00	0,2308	0,2414	0,4118	0,2946
С	0,11	0,14	1,00	0,076923	0,034483	0,058824	0,0567

Таблица 12.26 (окончание)

СЕРВ	A	B	C	Нормализованная матрица			Приоритет
A	1,00	3,00	5,00	0,652174	0,724138	0,384615	0,5870
B	0,33	1,00	7,00	0,2174	0,2414	0,5385	0,3324
C	0,20	0,14	1,00	0,130435	0,034483	0,076923	0,0806
СТОИМ	A	B	C	Нормализованная матрица			Приоритет
A	1,00	9,00	3,00	0,692308	0,870968	0,428571	0,6639
B	0,11	1,00	3,00	0,0769	0,0968	0,4286	0,2008
C	0,33	0,33	1,00	0,230769	0,032258	0,142857	0,1353
СТРЕМ	A	B	C	Нормализованная матрица			Приоритет
A	1,00	3,00	9,00	0,692308	0,724138	0,529412	0,6486
B	0,33	1,00	7,00	0,2308	0,2414	0,4118	0,2946
C	0,11	0,14	1,00	0,076923	0,034483	0,058824	0,0567

4) Для фактора A:

Относительный вес	Значение
<i>a</i>	0,3188
<i>b</i>	0,1513
<i>c</i>	0,6360
<i>d</i>	0,0436
<i>e</i>	0,2324
<i>f</i>	0,0775
<i>k</i>	0,0921
<i>l</i>	0,0184
Всего	1,0000

Решающее правило будет иметь следующий вид.

$$0,5796 \times 0,3188 + 0,5870 \times 0,1513 + 0,6360 \times 0,6360 + 0,6215 \times 0,0436 + \\ + 0,6486 \times 0,2324 + 0,5870 \times 0,0775 + 0,6639 \times 0,0921 + 0,6486 \times 0,0184.$$

Подставляя значения, получим приоритеты альтернатив.

Для фактора A: A = 0,6110.

Для фактора B: B = 0,2835.

Для фактора C: C = 0,1055.

Таким образом, наибольший глобальный приоритет имеет вариант A.

Раздел 4. МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ СИТУАЦИЯХ

Глава 13. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РИСКА И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

13.1. Задачи выбора в условиях риска и неопределенности

Задача принятия решений с наличием неопределенных факторов называется *игрой с природой*. ЛПРу требуется сделать некоторый выбор из множества допустимых альтернатив, принятие которых зависит от того, какое конкретное состояние природы будет иметь место. При этом предполагается, что множество состояний природы есть система несовместных событий и она либо вовсе неизвестна ЛПР, либо известна не полностью¹.

Почти всякая экономическая проблема, которую необходимо решать в целях эффективного управления, зависит от ряда неизвестных заранее и не всегда управляемых факторов. Поэтому почти все задачи, связанные с экономическими системами, обладают той или иной степенью неопределенности. Эта неопределенность снимается привлечением дополнительной информации об уточнении структуры проблемной ситуации.

В зависимости от степени полноты и достоверности привлекаемой информации, которой располагает менеджер, управленческие решения могут быть детерминированными (принятыми в условиях определенности) или вероятностными (принятыми в условиях риска или неопределенности). Информация, которая используется для уточнения и дополнения проблемы, играет чрезвычайно важную роль при оценке проблемы и принятии решения.

Так, например, *детерминированные решения* принимаются в условиях полной определенности, когда руководитель располагает практически полной, точной и достоверной информацией в отношении решаемой проблемы и тех альтернатив, которые определяются как допустимые. Это позволяет ЛПР точно знать результаты и прогнозировать успех каждого из альтернативных ва-

¹ *Абчук В. А.* Принятие решений в условиях неопределенной информации; Принятие решений и анализ экспертной информации // Вопросы кибернетики. НС по КП «Кибернетика». — М., 1989. Вып.151. 210 с.; *Хозяйственные ситуации: Практическое пособие / Г. А. Брянский, М. Л. Разу, О. А. Овсянников.* — М.: Экономика, 1983. 128 с.

риантов выбора. Такой результат только один, и вероятность его наступления близка к единице. Однако лишь немногие решения принимаются в условиях определенности. Большинство же управленческих решений в экономических системах основывается на вероятностных характеристиках.

Вероятностными называются решения, принимаемые в условиях риска (неполной определенности) или неопределенности (полная или частичная неопределенность).

Характерной особенностью деятельности в сфере управления, особенно в функциональных решениях, например в маркетинге, является риск и неопределенность. При этом существуют различные подходы к определению термина «риск». Обычно выделяют три базовых направления в понимании этого термина:

- риск как вероятность реализации факторов, обеспечивающих нежелательные последствия или потери;
- риск как величина или уровень возможных потерь;
- риск как комбинация вероятности и размера потерь (например, средняя ожидаемая величина потерь за определенный период времени, дисперсия прибыли или рентабельности).

При определении и изучении риска необходимо иметь в виду, что он возникает в результате достижения каких либо целевых посылок, т. е. имеет целевой характер.

Например, в маркетинге возникновение риска во многом связано с удовлетворением потребностей клиентов, что приводит к определенному противоречию между общественными и индивидуальными интересами. В этой связи основными рисками в маркетинговой деятельности можно считать риск производства нового товара, риск выхода на новые рынки, риск изменения окружающей среды, риск разработки комплекса маркетинга и маркетинговой стратегии, коммуникативные риски и т. д.

К совокупности факторов, не поддающихся влиянию со стороны предпринятия, можно отнести такие неуправляемые факторы, как правовая база, природно-климатические условия, общая экономическая ситуация в стране, нормативное регулирование деятельности и т. п., которые и порождает информационную неопределенность при принятии решения.

К решениям, принимаемым в *условиях риска*, относятся такие, результаты которых не являются определенными, но известна вероятностная оценка гипотез развития проблемы и результата решения. Вероятность в этом случае определяется как степень возможности свершения данного события и обычно изменяется от нуля до единицы. При этом сумма вероятностей всех альтернатив должна быть равна единице. Вероятность можно определить математическими методами на основе статистического анализа опытных данных. Вероятность, рассчитанная на основе информации, позволяющей сделать статистически достоверный прогноз, называется *объективной*.

В ряде случаев ЛПР не располагает достаточной информацией для объективной оценки вероятности возможных событий или нет статистики наблю-

дений за повторяемостью проблемы. В таких ситуациях ЛПР помогает знание проблемной области и опыт деятельности по указанной проблеме, на основании чего можно оценить возможное развитие исходной ситуации и степень такой возможности. В этом случае ЛПР (или группа экспертов) может достаточно достоверно оценить, какое именно событие может произойти с наибольшей вероятностью. В этих случаях оценка вероятности является *субъективной*, хотя может давать достаточно вероятное развитие проблемы.

Таким образом, при решении *задачи в условиях вероятностной определенности* ЛПР индивидуально или в составе экспертной группы делает постановку и формализует задачу. При этом эксперты же определяют или подтверждают соответствующее распределение вероятностей функций полезности по альтернативам, дают их численные характеристики, структурируют решаемую задачу.

Решение принимается в условиях *неопределенности*, когда из-за недостатка информации невозможно количественно оценить вероятность появления тех или иных гипотез и возможных результатов принятия решения. Это довольно часто встречается при решении новых нетипичных проблем, когда требующие учета воздействующие факторы настолько новы и сложны, что о них невозможно получить достаточной информации или нет времени на поиск дополнительной информации. Неопределенность характерна и для некоторых решений, которые приходится принимать в быстро меняющихся ситуациях. В итоге вероятность появления факторов, степень их интенсивности и вид функционального воздействия, как факторов, так и определенных альтернатив, невозможно оценить с достаточной степенью достоверности.

Большая часть практических задач является *задачами в условиях неопределенности*, к которым обычно относят *слабоструктурированные* и *неструктурированные* задачи. Возможны следующие виды неопределенности проблемной ситуации и самой организации процесса решения:

- наличие частотной неопределенности, т. е. отсутствие статистических данных;
- неопределенность из-за существующей многокритериальности задач (множество целей при решении задачи);
- существование активных элементов в структуре организационного управления, действия которых невозможно контролировать.

При описании задач используют различные подходы, методы и модели анализа структуры проблемной ситуации и возможностей ее решения.

Сталкиваясь с неопределенностью, ЛПР может использовать две основные возможности:

- а) попытаться получить дополнительную информацию и еще раз проанализировать проблему, чтобы снизить ее неопределенность, новизну и сложность. В сочетании с опытом и интуицией это дает ему возможность оценить субъективную, предполагаемую вероятность возможных результатов. В этом случае ЛПР имеет дело с задачами, решаемыми в *условиях вероятностной определенности*;

- б) когда не хватает времени и/или средств на сбор дополнительной информации, при принятии решения приходится полагаться на прошлый опыт и интуицию. В такой ситуации возможно использование методов, ориентирующихся на полностью неопределенную ситуацию. В этом случае ЛПР имеет дело с задачами, решаемыми в *условиях (полной или частичной) неопределенности*.

При частичной неопределенности проблемы возникает *слабоструктурированная задача*, для решения которой используются статистические и вероятностные методы, а также методы, использующие нечеткие множества. Так, в группе методов математической статистики для обоснования решений в условиях неполной или неточной информации необходимо вести учет случайных и нечетких параметров. В эту группу можно включить методы корреляционного и регрессионного анализа, кластерного анализа, методы распознавания образов и др.

В любом случае, если задача решается в условиях вероятностной определенности или полной неопределенности, возникнет необходимость в формировании либо множества влияющих факторов $\{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n\}$, либо конечного множества гипотез S (альтернативных ситуаций) развития проблемной ситуации, $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, определяющих возможные направления развития исходной ситуации S_0 в зависимости от действия тех или иных влияющих факторов. В качестве таких внешних и внутренних воздействующих факторов могут быть предположения о действиях партнеров, контрдействиях конкурентов, причинах сбоев (отказов) техники, об изменении политической или экономической ситуации в стратегической зоне хозяйствования экономической системы и др.

Если нет определенности в развитии S_0 , то возможно задание множества гипотез $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_m)$, которые доопределяют текущую проблему и являются взаимоисключающими. Такое дополнение проблемной ситуации необходимо в условиях неполной информации о ПС, если затраты на информационное доопределение оправдываются результатами. Элементы множества S представляют собой взаимоисключающие (альтернативные) варианты возможного развития проблемы. Для решения задачи желательно сопоставить каждой гипотезе S_i некоторую вероятность ее появления — $P(S_i)$.

Для решения задач, относящихся к классу *неструктурируемых*, используются в основном эвристические методы (метод Дельфы, метод Кингисеп, метод Курно и др.).

Рассмотрим подробнее признаки группировки задач, решаемых в условиях риска и неопределенности. В литературе к таким признакам относят следующие:

1. *Характер субъекта принятия решений* — признак, описывающий конкретный *тип лица, принимающего решение*, и степень его информированности о ПС в экономической системе.

2. По признаку *степени информированности лица, принимающего решения*, о состоянии и направлениях развития проблемной ситуации задачи принятия решений можно разбить на следующие группы:

2.1. Задачи, решаемые в *условиях полной определенности*, когда известны все составляющие и характеристики ПС. Здесь понятие определенности характеризуется полнотой и достоверностью информации для принятия решений. В таких задачах нет необходимости доопределять исходную ситуацию S_0 гипотетическими ситуациями ($S_1, S_2, \dots, S_n$). Цели и ограничения определяются в виде целевых функций и неравенств.

Функция предпочтения обычно совпадает с целевой функцией f , т. е. $\Pi = f$, если цель одна. Если целей несколько, то f функционально зависима от целевых функций. Для таких задач можно строить формальную математическую модель (методы оптимизации (множество программ, динамика программ и пр.)). К определенным задачам относятся задачи размещения ресурсов, назначения работ, управления запасами, транспортные и др.

2.2. Задачи, решаемые в *условиях вероятностной определенности* (в условиях риска). Обычно это стохастические задачи, когда известны лишь статистические данные о факторах, влияющих на выработку решений. Решение таких задач формируется на базе теории статистических решений. Здесь некоторая полнота учитывается вероятными характеристиками некоторых событий. Обобщенным критерием оптимального решения является средний риск, поэтому подобные задачи называются задачами ПР в условиях риска для простейших случаев технических и экономических систем.

2.3. Задачи, решаемые в *условиях неопределенности*, когда отсутствует полная информация о влияющих факторах и характеристике ПС или информация характеризует ситуацию с некоторой степенью нечеткости, размытости. Такие задачи наиболее типичны для задач управления в экономических системах. Характерны значительная неполнота и низкое качество информации, малая достоверность, сложные взаимосвязи факторов. Основную роль в принятии решений играют не формальные методы, а ЛПР, работающее в связке с системой поддержки принятия решений.

2.4. Задачи, решаемые в условиях *стратегической неопределенности* с активным противодействием (со стороны внешней среды или внутренней структуры экономической системы) эффективной выработке решений. В таких задачах необходимо учитывать влияние на исход решения лиц, преследующих противоположные общесистемным или неизвестные цели.

3. По признаку *условия разработки* управленческих решений сами решения можно разделить на:

3.1. Решения, формируемые в *условиях полной определенности*.

3.2. Решения, формируемые в *условиях риска*;

3.3. Решения, формируемые в *условиях неопределенности*.

Р. Льюис и Х. Райфа¹ трактуют эти условия формирования управленческих решений следующим образом:

1. Выбор решения в условиях полной определенности предполагает, что результат каждого действия известен.

¹ Льюис Р. Д., Райфа Х. Игры и решения: Введение в критический обзор. — М., 1961. 642 с.

2. Выбор решения в условиях риска означает, что каждое действие приводит к одному из множества возможных частных исходов. При этом каждый исход имеет известную вероятность появления. Считается, что ЛПР эти вероятности известны.

3. Выбор решения в условиях неопределенности происходит в том случае, когда то или иное действие имеет своим следствием множество возможных частных исходов, но вероятности этих исходов неизвестны.

Сформулируем обобщенную постановку задачи рационального принятия решения в условиях риска и неопределенности.

Постановка задачи в условиях риска и неопределенности. Для ЛПР, действующего в условиях неопределенности и невозможности получения дополнительной информации о неопределенных факторах, основными элементами описания ситуации являются:

- множество допустимых стратегий (множество возможных альтернатив или действий) ЛПР, $Y \subseteq \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$;
- множество возможных состояний природы (множество значений неопределенного фактора), $\Phi = f_j, j = 1, k$.

Тогда на множестве отношений $A \times \Phi$ можно задать некоторую функцию полезности $\underline{u} | u \in U, u(y_i, f_j)$, которая может выступать в качестве меры желательности или полезности соответствующей альтернативы. Если A и Φ — малоразмерны, то множество исходов можно представить в виде некоторой таблицы. То есть если существует возможность задать меру для оценки эффективности действий ЛПР на множестве состояний природы Φ (говорят на $A \& \Phi$), то эта мера (полезность) исхода характеризуется в виде матрицы (табл. 13.1), если множества A и Φ конечны.

Таблица 13.1. Матрица описания задачи

Альтернативы решения	Факторы состояния природы				
	f_1	f_2	f_3	...	f_n
Y_1	u_{11}	u_{12}	u_{13}	...	u_{1n}
Y_2	u_{21}	u_{22}	u_{23}	...	u_{2n}
...	...	...	...	...	...
Y_m	u_{m1}	u_{m2}	u_{m3}	...	u_{mn}

Каждое конкретное значение элемента матрицы $u_{ij} = u(y_i, f_j)$ характеризует желательность i -й стратегии y_i при j -м значении неопределенного фактора f_j . При таких параметрах требуется выбрать лучшую в некотором смысле для ЛПР стратегию. Для решения задач такого рода имеется ряд специальных способов выбора, ориентированных на использование в условиях неопределенности, которые рассмотрим ниже.

Если же воздействие каждого фактора Φ связать с тем состоянием, в которое оно переведет исходную проблемную ситуацию, то тогда можно будет гово-

речь о некоторой совокупности гипотетических состояний, в которую перейдет проблема под воздействием факторов. Таким образом, множество исходных факторов $\Phi \subseteq \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_m\}$ переводит исходную ситуацию S_0 в одно из возможных состояний, которое определяется некоторым множеством гипотез $\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$. Причем если для каждой возможной гипотезы можно сопоставить некоторую количественную характеристику ее исхода (вероятности возникновения гипотезы), то вектор этих характеристик позволит уточнить саму задачу выбора и снять некоторую неопределенность решения.

В этом случае представление задачи можно описать в виде матрицы, представленной в табл. 13.2.

Таблица 13.2. Матрица описания задачи

Альтернативы решения	Гипотезы возможного развития проблемы				
	S_1	S_2	S_3	...	S_n
Y_1	u_{11}	u_{12}	u_{13}	...	u_{1n}
Y_2	u_{21}	u_{22}	u_{23}	...	u_{2n}
...	...	...	...	...	...
Y_m	u_{m1}	u_{m2}	u_{m3}	...	u_{mn}
Вероятность возникновения ситуации (гипотезы)	$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$		$P(S_1)$

Если для данной задачи функция полезности U_{ij} определяется в виде показателей риска, т. е. вероятностных показателей (дисперсия, среднее квадратическое отклонение и пр.) прибыльности, финансовых потоков или потерь, то задачи такого типа относятся к группе задач с *вероятностной определенностью*.

Рассмотрим более подробно постановку класса задач с вероятностной определенностью и методы их решения. В соответствии с формальной постановкой задачи (гл. 3) выделяют следующие виды задач:

1. *Задачи типа JS*. Для задач этого типа обычно сама исходная проблемная ситуация S_0 не полностью определена. В этом случае ситуация S_0 доопределяется гипотетическими ситуациями S_i , которые описывают возможные сценарии ее дальнейшего развития в зависимости от действия тех или иных факторов внешней или внутренней среды, т. е. $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, и для каждой из ситуаций S_i задается вероятность p_i ее возникновения, т. е. $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$.

Задачи данного типа характеризуются одним критерием (целью), множеством альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$ и множеством гипотез $(S_1, S_2, \dots, S_n)$ с вероятностями их появления $(p_1, p_2, \dots, p_n)$. Для каждой альтернативы в разрезе возможных гипотез ее развития необходимо оценить значение ее функции, $F = (f_{11}, f_{12}, \dots, f_{21}, \dots, f_{mn})$.

Информация описания задачи такого типа обычно задается матрицей (табл. 13.3.), где f_{ij} — функция предпочтения; p_i — вероятность появления ситуации S_i .

Таблица 13.3. Матрица описания задач типа JS

Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n
Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}
	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}
	...	...	...	...	...
	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}
Вероятности гипотез		P_1	P_2	...	P_n

2. *Задачи типа JSA.* Задачи данного типа относятся к многокритериальным и неполно определены, т. е. дополнительно характеризуются системой гипотез. Задача является комбинацией двух предыдущих задач.

Для каждой цели (критерия) из множества целей решения $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$ задается степень важности цели при решении задачи $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$, а сама исходная ситуация S_0 доопределяется гипотетическими ситуациями S_i , которые описывают возможные сценарии ее дальнейшего развития в зависимости от действия тех или иных факторов внешней или внутренней среды, т. е. $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, и для каждой из ситуаций S_i задается вероятность ее возникновения p_i , т. е. $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$.

Таким образом, по задаче известна следующая информация: множество альтернатив $Y \subseteq (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$, множество целей решения $A \subseteq (A_1, A_2, \dots, A_k)$ с заданными приоритетами целей по их важности $B \subseteq (b_1, b_2, \dots, b_k)$ и множество гипотез $S \subseteq (S_1, S_2, \dots, S_n)$ с вероятностями их появления $(p_1, p_2, \dots, p_n)$. Для каждой альтернативы в разрезе возможных гипотез ее развития, по каждой цели разрешения проблемы необходимо оценить значение функции предпочтения по каждой альтернативе, $F = (f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1n}, f_{21}, \dots, f_{2n}, \dots, f_{m1}, \dots, f_{mn})$. Таким образом, каждая гипотеза определяется ее вероятностью, а критерии — приоритетами целей. Описание такой задачи характеризуется матрицей, представленной в табл. 13.4.

Таблица 13.4. Матрица описания задач типа JSA

Гипотезы		S_1			S_2			...	S_n		
Критерии (цели)		A_1	...	A_k	A_1	...	A_k	...	A_1	...	A_k
Альтернативы решения	Y_1	f_{111}	...	f_{11k}	f_{121}	...	f_{12k}	...	f_{1n1}	...	f_{1nk}
	Y_2	f_{211}	...	f_{21k}	f_{221}	...	f_{22k}	...	f_{2n1}	...	f_{2nk}
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Y_m	f_{m11}	...	f_{m1k}	f_{m21}	...	f_{m2k}	...	f_{mn1}	...	f_{mnk}
Приоритеты целей		b_1	...	b_k	b_1	...	b_k	...	b_1	...	b_k
Вероятности гипотез		P_1			P_2			...	P_n		

где f_{ijz} — функция предпочтения, индексы которой соответствуют следующим параметрам: i — индекс альтернативы; j — индекс гипотезы; z — индекс крите-

рия; A_z — цели (критерии); b_z — приоритеты критериев; S_j — гипотеза развития ПС; p_j — вероятность появления ситуации S_j .

3. *Задачи типа GS* характеризуется не полностью определенной ситуацией, наличием одного критерия выбора, но базируется на методологии группового выбора. Данная задача аналогична задаче типа JS и использует такое же представление данных при индивидуальном решении задачи каждым экспертом группы. Количество таких задач (матриц представления задачи) должно соответствовать количеству экспертов в группе.

Для задач этого типа сама исходная проблемная ситуация S_0 не полностью определена и сама ситуация S_0 доопределяется гипотетическими ситуациями S_p , которые описывают возможные сценарии ее дальнейшего развития, т. е. $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, причем для каждой из возможных гипотез S_i задается вероятность p_i ее возникновения, т. е. $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$.

Информация, описывающая задачи такого типа, состоит из следующих данных: для некоторой возможной совокупности состояний, определяемых как гипотетическое развитие исходной ситуации $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, имеется множество возможных альтернатив $Y \subseteq (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$, привязанных к выделенным гипотезам, среди которых осуществляется выбор решения группой экспертов $G = (J_1, J_2, \dots, J_m)$. Каждый эксперт на множестве альтернатив определяет значения функции предпочтения (полезности) $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ в разрезе каждой альтернативы. Данная задача аналогична задаче *типа JS* и использует такое же представление данных по каждому эксперту. Общая схема решения задачи представлена в табл. 13.5. Количество таких матриц должно соответствовать количеству экспертов в группе.

4. *Задачи типа GSA*. Задачи этого типа относятся к наиболее сложным задачам многокритериального выбора с дополнительно определяемой системой возможных гипотез развития исходной ситуации. Причем решение задачи ведется группой экспертов.

То есть задача характеризуется не полностью определенной ситуацией, наличием множества целей (критериев выбора) и базируется на методологии группового выбора. Данная задача аналогична задаче типа JSA и использует аналогичное представление данных при индивидуальном решении задачи каждым экспертом группы. Количество таких задач (матриц представления задачи) соответствует количеству экспертов в группе.

Для задач этого типа сама исходная проблемная ситуация S_0 не полностью определена и доопределяется гипотетическими ситуациями S_p , которые описывают возможные сценарии ее дальнейшего развития, т. е. $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, причем для каждой из возможных гипотез S_i задается вероятность p_i ее возникновения, т. е. $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$. Кроме этого, задача характеризуется множеством целей решения $A \subseteq (A_1, A_2, \dots, A_k)$, для каждой из которых (критериев выбора) можно определить важность каждой цели $B \subseteq (b_1, b_2, \dots, b_k)$. Выбор осуществляется группой экспертов $G = (J_1, J_2, \dots, J_m)$, причем для каждого эксперта можно определить показатель приоритета эксперта в группе, который характеризует

Таблица 13.5. Матрицы описания задач типа GS

№ п/п	Лицо, принимающее решение (член экспертной группы)	Решаемая задача типа JS					Эффективное (локальное) решение	Приоритет эксперта	
1	$J_1 = \text{ЛПР}_1$	Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n	Y_U	W_1
	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}			
		Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}			
		...	...	...	...	...			
		Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}			
	Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n			
2	$J_2 = \text{ЛПР}_2$	Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n	Y_j	W_2
	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}			
		Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}			
		...	...	...	...	...			
		Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}			
	Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n			
...	...	...					...	...	
m	$J_m = \text{ЛПР}_m$	Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n	Y_z	W_m
	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}			
		Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}			
		...	...	...	...	...			
		Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}			
	Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n			
Формирование принципа и критерия согласования мнений экспертов									
Согласованное решение (групповое решение)							Y^*		

его важность в данной предполагаемой сфере управленческой деятельности, $W = (W_1, W_2, \dots, W_m)$. При этом для каждой гипотезы $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ по каждой альтернативе и реализуемой цели (критерию) каждым экспертом формируется значение функции предпочтения $F = (f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1n}, f_{21}, \dots, f_{m1}, \dots, f_{mn})$.

Информация, описывающая задачи такого типа, включает в себя следующие данные: для некоторой возможной совокупности состояний, определяемых как гипотетическое развитие исходной ситуации $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, имеется мно-

жество возможных альтернатив $Y \subseteq (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$, эффективность которых определяется соответствием множеству целей $A \subseteq (A_1, A_2, \dots, A_k)$, для каждой из которых задается важность цели $B \subseteq (b_1, b_2, \dots, b_k)$, привязанных к выделенным гипотезам и критериям, выбор среди которых осуществляется группой экспертов $G = (J_1, J_2, \dots, J_m)$. Каждый эксперт на множестве альтернатив определяет значения функции предпочтения (полезности) $F = (f_{111}, f_{112}, \dots, f_{1nk}, f_{211}, \dots, f_{m11}, \dots, f_{mnk})$ в разрезе каждой гипотезы по каждой альтернативе. Данная задача аналогична задаче *типа JSA* и использует такое же представление данных по каждому эксперту. Общая схема решения задачи представлена в табл. 13.6. Количество таких матриц должно соответствовать количеству экспертов в группе.

На основании сформулированных каждым экспертом мнений о локально эффективных вариантах решения $Y_0 = (Y_{\text{ЛПР}1}, Y_{\text{ЛПР}2}, \dots, Y_{\text{ЛПР}m})$ с учетом обоснованной процедуры согласования производится выбор группового эффективного варианта решения:

$$(Y_{\text{ЛПР}1}, Y_{\text{ЛПР}2}, \dots, Y_{\text{ЛПР}m}) \rightarrow Y^*.$$

13.2. Классификация неопределенностей в задачах управления

Исходя из условий постановки задачи выделим на множестве неопределенных факторов те, которые влияют на принятие решений. Итак, это множество допустимых стратегий (множество возможных действий ЛПР, $Y \subseteq \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$, которые характеризуют субъективные неопределенные факторы, влияющие на процесс принятия решений, и множество возможных состояний природы (множество значений неопределенного фактора), $\Phi = f_j, j = 1, k$, описывающих объективные неопределенные факторы. Таким образом, множество неопределенных факторов можно разделить на субъективные и объективные¹. В общем случае *субъективная неопределенность* характеризует индивидуальные психофизические характеристики ЛПР. Основными причинами возникновения субъективной неопределенности являются:

- а) неполнота знаний о закономерностях и условиях развития проблемной ситуации или самой экономической системы;
- б) неверная мотивация при выборе альтернатив или ошибки в процедурах анализа и формирования решений;

¹ *Абчук В. А.* Принятие решений в условиях неопределенной информации; *Дорохов А. А.* Теория принятия оперативных решений. — М.: МАИ, 1989. 40 с.; *Иваненко В. И., Лабковский В. А.* Проблемы неопределенностей в задачах принятия решений. — Киев: ИК АН УССР, 1990. 136 с.; *Копаненко А. Ф., Халезов А. Д., Чумаков В. В.* Принятие решений в условиях неопределенности. — М.: ВЦ АН СССР, 1991. 198 с.; *Кулиев Р. И.* Принятие решений в условиях неопределенности; Теория выбора и принятия решений: Учеб. пособие / Под ред. И. М. Макарова.

Таблица 13.6. Матрицы описания задач типа GSA

№ п/п	Лицо, принимающее решение (член экспертной группы)	Решаемая задача типа <i>JA</i>										Эффек- тивное (локаль- ное) решение	Прио- ритет эксперта	
1	$J_1 = \text{ЛПР}_1$	Гипотезы		S_1			S_2			...	S_n		Y_U	W_1
		Критерии (цели)		A_1	...	A_k	A_1	...	A_k	...	A_1	...	A_k	
		Альтернативы решения	Y_1	f_{111}	...	f_{11k}	f_{121}	...	f_{12k}	...	f_{1n1}	...	f_{1nk}	
			Y_2	f_{211}	...	f_{21k}	f_{221}	...	f_{22k}	...	f_{2n1}	...	f_{2nk}	
			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
			Y_m	f_{m11}	...	f_{m1k}	f_{m21}	...	f_{m2k}	...	f_{mn1}	...	f_{mnk}	
		Приоритеты целей		b_1	...	b_k	b_1	...	b_k	...	b_1	...	b_k	
		Вероятности гипотез		p_1			p_2			...	p_n			
2	$J_2 = \text{ЛПР}_2$	Гипотезы		S_1			S_2			...	S_n		Y_f	W_2
		Критерии (цели)		A_1	...	A_k	A_1	...	A_k	...	A_1	...	A_k	
		Альтернативы решения	Y_1	f_{111}	...	f_{11k}	f_{121}	...	f_{12k}	...	f_{1n1}	...	f_{1nk}	
			Y_2	f_{211}	...	f_{21k}	f_{221}	...	f_{22k}	...	f_{2n1}	...	f_{2nk}	
			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
			Y_m	f_{m11}	...	f_{m1k}	f_{m21}	...	f_{m2k}	...	f_{mn1}	...	f_{mnk}	
		Приоритеты целей		b_1	...	b_k	b_1	...	b_k	...	b_1	...	b_k	
		Вероятности гипотез		p_1			p_2			...	p_n			
...	...	...											...	...
m	$J_m = \text{ЛПР}_m$	Гипотезы		S_1			S_2			...	S_n		Y_z	W_m
		Критерии (цели)		A_1	...	A_k	A_1	...	A_k	...	A_1	...	A_k	
		Альтернативы решения	Y_1	f_{111}	...	f_{11k}	f_{121}	...	f_{12k}	...	f_{1n1}	...	f_{1nk}	
			Y_2	f_{211}	...	f_{21k}	f_{221}	...	f_{22k}	...	f_{2n1}	...	f_{2nk}	
			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
			Y_m	f_{m11}	...	f_{m1k}	f_{m21}	...	f_{m2k}	...	f_{mn1}	...	f_{mnk}	
		Приоритеты целей		b_1	...	b_k	b_1	...	b_k	...	b_1	...	b_k	
		Вероятности гипотез		p_1			p_2			...	p_n			
Формирование принципа и критерия согласования мнений экспертов														
Согласованное решение (групповое решение)												Y^*		

- в) наличие в структуре управления активных элементов, обладающих возможностями и определенными правами по выбору управляющих параметров, в том числе:
 - противоречия активных элементов, входящих в структуру ЛПР (каждый АЭ может функционировать в целях увеличения индивидуального, а не общесистемного выигрыша);
 - возможность несанкционированного обмена информацией с элементами окружающей среды (в собственных интересах);
 - невозможность определения целевых функций партнеров и их правил поведения при наличии у АЭ противоречивых интересов;
- г) разная информированность АЭ о неопределенных факторах: параметрах системы и ее элементах и влиянии на систему внешних условий;
- д) сложность описания системы взаимодействия АЭ в количестве более двух элементов, обладающих возможностями и определенными правами по выбору управляющих параметров.

Основными причинами возникновения *объективной неопределенности* являются:

- а) неполнота информации о состоянии экономической системы;
- б) неполнота информации о характеристиках, симптомах и следствиях проблемной ситуации;
- в) неопределенность цели функционирования объекта;
- г) неопределенность процедуры принятия решений из-за громоздкости многоуровневой системы управления либо возможности образования коалиций с противоположными интересами в структуре управления;
- д) неопределенности в данных при наличии случайных величин с известными вероятностными характеристиками (вероятностно-определенные условия) либо характеристик проблемной ситуации, для которых заданы лишь области их изменения. По отношению к действию некоторых параметров системы или внешних воздействий на развитие проблемной ситуации могут быть известны лишь пределы изменения их областей, а внутри области они могут принимать любые значения;
- е) изменение стратегии на i -м уровне управления из-за сообщения своей стратегии с нижних уровней (уровня $i - 1$);
- ж) при изменении интересов или возникновении новых коалиций, складывающиеся в структуре управления могут менять стратегии и критерии функционирования.

Структура объективной неопределенности, возникающая при решении организационно-экономических задач, требующих процедуры принятия решений, приведена на рис. 13.1.

Таким образом, для каждого типа неопределенности необходимо выбирать адекватные методы ее разрешения, т. е. соответствующие принципы выбора, учитывающие данный тип неопределенности.

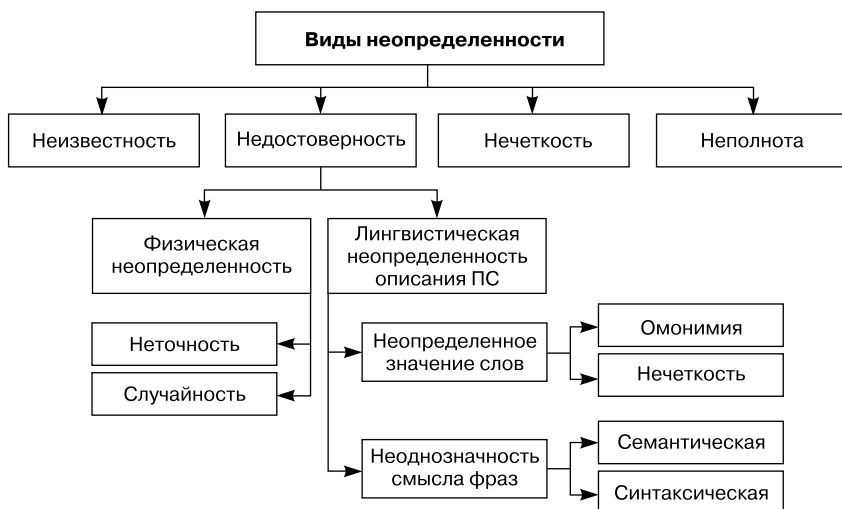


Рис. 13.1. Схема классификации неопределенностей в проблемных ситуациях

13.3. Принятие решений в условиях вероятностной определенности (риска)

Определим методологию принятия решения задачи выбора в условиях риска на следующем примере.

Постановка задачи. Известны субъективные вероятности возможных состояний среды. Для решения задачи имеется следующая информация¹:

- множество альтернатив $A \subseteq \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ и множество состояний среды $S \subseteq \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$;
- известны субъективные вероятности состояния среды $\{P(s_1), P(s_2), \dots, P(s_n)\}$, причем

$$\sum_{j=1}^m P(s_j) = 1;$$

- для каждого сочетания альтернативного решения y_i и состояния s_j задана функциональная полезность u_{ij} .

Исходная информация по задаче представлена в виде матрицы (табл. 13.7).

¹ Остатюк С.Ф., Рытова С.А. Принятие решений в организационных системах. — М.: ЦНИИАтоминформ, 1978. 92 с.; Принятие оптимальных решений в экономических системах. — Горький: ГГУ, 1986. 127 с.

Таблица 13.7. Матрица исходных данных

Альтернативные решения y_i	Состояние среды s_j			
	s_1	s_2		s_n
y_1	u_{11}	u_{12}		u_{1n}
y_2	u_{21}	u_{22}		u_{2n}
....	...	...		...
y_m	u_{m1}	u_{m2}		u_{mn}
Вероятности	$P(s_1)$	$P(s_2)$		$P(s_n)$

Выбор решения зависит от используемого **принципа выбора** решения в условиях риска.

Принципы выбора. Существующие методы выбора в основном базируются на использовании вероятностных мер в качестве критерия выбора. Обычно в теории статистических решений используются такие критерии, как вероятностная мера Байеса и мера энтропии некоторого процесса. Кратко исследуем указанные меры выбора для рассматриваемого типа задач.

1. *Принцип Байеса.* В качестве критерия оценки стратегии (решения) y_i используются взвешенные по вероятности суммы полезностей, т. е.

$$u_i = \sum_{j=1}^n P(s_j) \cdot u_{ij}. \quad (13.1)$$

В этом случае оптимальным считается решение, для которого значение критерия u_i будет максимальным, т. е. $u_i \rightarrow \max$:

$$y^{\text{опт}} = y^* \rightarrow \max_i u_i = \max_i \sum_{j=1}^n (P(s_j) \cdot u_{ij}).$$

Если вероятности находятся в отношении простого порядка, т. е.

$$P(s_1) \geq P(s_2) \geq \dots \geq P(s_n) > 0,$$

то считаем, что решение y_k будет предпочтительнее, чем y_l ($y_k \succ y_l$), только тогда, когда выполняется условие:

$$u_k - u_l = \sum_{j=1}^n (P(s_j) \cdot (u_{kj} - u_{lj})) \geq 0$$

при $P(s_j) \geq 0, \sum_{j=1}^n P(s_j) = 1,$

$$u_k - u_l = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{q=1}^j [P(s_j) - P(s_{j+1})] \cdot (u_{qk} - u_{ql}) \right],$$

или же с учетом того, что $P(s_j) - P(s_i) \geq 0$, имеем

$$(u_k - u_l) \rightarrow \sum_{q=1}^j (u_{qk} - u_{ql}).$$

Иногда каждому решению y_i ставят в соответствие не функцию полезности u_{ij} , а величину потерь:

$$w_{ij} = |u_{ij} - \max_j u_{ij}|, \quad (13.2)$$

которая характеризует упущенные возможности при выборе альтернатив

$$y^{\text{опт}} = y^* \rightarrow \min_i \sum_{j=1}^n (P(S_j) \cdot w_{ij}).$$

Рассмотрим следующий пример.

Пример 13.1. Для формирования новой стратегии развития экономического объекта разработаны три варианта технологического процесса Y , $Y = (y_1, y_2, y_3)$.

По каждому варианту известны следующие данные: $P(S_1)$ — вероятность наличия дефицита на сырье для изделий; $P(S_2)$ — отсутствие дефицита; u_1, u_2, u_3 — функции полезности приведенных вариантов.

Исходные данные приведены в табл. 13.8.

Таблица 13.8. Матрица полезности

Y	S _i	
	S ₁	S ₂
y ₁	2,5	12
y ₂	11,6	7,5
y ₃	1,3	15
P(S _j)	0,3	0,7

Для приведенных вариантов рассчитаем значения полезности по формуле взвешенной вероятности (13.1) u_1, u_2, u_3 и сформулируем стратегию выбора:

$$u_1 = 0,3 \times 2,5 + 0,7 \times 12 = 8,15;$$

$$u_2 = 0,3 \times 11,6 + 0,7 \times 7,5 = 8,75;$$

$$u_3 = 0,3 \times 1,3 + 0,7 \times 15 = 10,89.$$

Оптимальной стратегией для данного метода будет стратегия с максимальным значением полезности:

$$y^{\text{opt}} = y^* \rightarrow \max_i u_i = \max_i u_i = [8,15; 8,75; 10,89] = 10,89.$$

Таким образом:

$$y^{\text{opt}} = y^* \rightarrow \max_i u_i = y_3.$$

На следующем этапе определим потери (риск) для каждого решения (выбираемой стратегии). Для расчета потерь используем формулу оценки потерь (13.2):

$$w_{ij} = |u_{ij} - \max_j u_{ij}|.$$

Результаты вычислений сведены в таблицу потерь (табл. 13.9).

Общие потери по вариантам равны:

$$w_1 = 0,3 \times 8,1 + 0,7 \times 3 = 4,83;$$

$$w_2 = 0,3 \times 0 + 0,7 \times 7,5 = 5,25;$$

$$w_3 = 3,09.$$

Тогда, оптимальной будет стратегия с минимальными потерями:

$$y^{\text{opt}} = y^* \rightarrow \min_i w_i = \min_i w_i = [4,83; 5,25; 3,09] = 3,09.$$

Таблица 13.9. Матрица потерь

A	S_i	
	S_1	S_2
a_1	9,1 = (11,6 – 2,5)	3 = (15 – 12)
a_2	0	7,5 = (15 – 7,5)
a_3	10,3	0
$P(S_j)$	0,3	0,7

Таким образом $y^{\text{opt}} = y^* \rightarrow \min_i w_i = y_3$.

2. Принцип максимума энтропии математического ожидания функции полезности. В качестве критерия определения оптимальной стратегии выбирается энтропия математического ожидания функции полезности для стратегии y_i в виде

$$H_i = - \frac{P(s_j) \cdot u_{ij}}{\sum_{j=1}^n P(s_j) \cdot u_{ij}} \cdot \frac{\ln[P(s_j) \cdot u_{ij}]}{\sum_{j=1}^n P(s_j) \cdot u_{ij}}, \quad (13.3)$$

а оптимальное решение есть решение, максимизирующее энтропию математического ожидания функции полезности, т. е.

$$y^{\text{opt}} = y^* \rightarrow \max_i H_i.$$

Пусть имеется следующее соотношение полезностей:

$$(u_k - u_l) \rightarrow \sum_{q=1}^j (u_{qk} - u_{ql}) \geq 0.$$

Каждому решению y_i поставим в соответствие не функцию полезности u_{ij} , а величину потерь R_{ij}

$$R_{ij} = |u_{ij} - \max u_{ij}|,$$

которая характеризует упущенные возможности при принятии решения.

Тогда

$$y^{\text{опт}} = y^* \rightarrow \min_i \sum_{j=1}^n (P(s_j) \cdot R_{ij}).$$

Рассмотрим решение задачи методом формирования *медианы выбора*.

Пример 13.2. Постановка задачи. Дана таблица ранжировки альтернатив решения для 3 гипотетических ситуаций, где множество возможных ситуаций развития проблемы S составляет $S = \{S_1, S_2, S_3\}$, а множество решений Y есть $Y = \{Y_1, Y_2, Y_3\}$. Значения функции полезности альтернатив приведены в табл. 13.10. Здесь в качестве функции полезности используется ранговая шкала, определяющая ранг каждой альтернативы для различных потенциальных состояний развития проблемы.

Таблица 13.10. Матрица предпочтений

	Гипотезы развития проблемной ситуации		
	S_1	S_2	S_3
Y_1	1	2	2
Y_2	2	3	2
Y_3	2	1	1

Решаем задачу в несколько этапов. На *первом этапе* для построения матрицы предпочтения по каждой возможной ситуации (гипотезе) S_i строится матрица парных сравнений, определяющая предпочтения для каждой сформулированной альтернативы $Y = \{Y_1, Y_2, Y_3\}$ (табл. 13.11–13.13).

Таблица 13.11. Матрица парных сравнений для S_1

	Y_1	Y_2	Y_3
Y_1	1	1	1
Y_2	0	1	1
Y_3	0	1	1

Таблица 13.12. Матрица парных сравнений для S_2

	Y_1	Y_2	Y_3
Y_1		Y_1	Y_2
Y_2	Y_1	1	1
Y_3	Y_2	0	1

Таблица 13.13. Матрица парных сравнений для S_3

	Y_1	Y_2	Y_3
Y_1	1	1	0
Y_2	1	1	0
Y_3	1	1	1

На *втором этапе* необходимо определить суммарную матрицу $\|a\|$, равную поэлементной сумме голосов за каждое решение по каждой ситуации, где элемент матрицы $\|a_{ij}\|$ вычисляется в виде суммы одноименных элементов полученных матриц парного сравнения.

Переходя к значениям вычисленных матриц, получим суммарную матрицу:

$$\|a\| = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 3 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 1 \\ 2 & 3 & 3 \end{vmatrix}.$$

Далее на основе полученной суммарной матрицы строим аддитивную меру (табл. 13.14) в виде суммы критериальных значений по гипотезам.

Таблица 13.14. Суммарная матрица (с аддитивной сверткой)

	Гипотезы развития проблемной ситуации			Сумма значений функции полезности
	S_1	S_2	S_3	$\Sigma = f_{S_1} + f_{S_2} + f_{S_3}$
Y_1	3	3	1	7
Y_2	1	3	1	5
Y_3	2	3	3	8

Используя стратегию максимизации $\max(f_{S_1}, f_{S_2}, f_{S_3})$, функции полезности, получим:

$$Y^* = \max(f_{S_1}, f_{S_2}, f_{S_3}) = \max(7, 5, 8) = 8.$$

Это соответствует альтернативе Y_3 . Таким образом, в качестве рационального решения выбираем альтернативу Y_3 , $Y^* = Y_3$.

13.4. Методы анализа последствий событий и деревьев решения

Данные методы позволяют решать простые задачи, заданные с возможными гипотезами развития проблемы, и дают формальный аппарат для исследования и оценки возможных альтернатив решения.

Метод последствий событий представляется в виде матриц последствий, которые имеют вид таблиц, содержащих в компактной форме список возможных альтернатив и оценок последствий их внедрения при различных гипотезах развития проблемной ситуации. Данный метод нашел свое применение при решении задач выбора малорисковых вариантов и позволяет оценить интегральный риск выбранного решения.

Другой метод — *метод деревьев решений* по сравнению с матрицами последствий обладает двумя основными преимуществами. Во-первых, он позволяет графически отобразить структуру проблемы и, во-вторых — провести анализ структурно сложных проблемных ситуаций, представляя характеристики проблемной ситуации в компактной форме и интегральном виде. Метод также используется при оценке интегрального риска при выборе альтернатив решения.

Если проблемная ситуация относится к классу однокритериальных, то такую задачу удобно решать с использованием этих способов. Если задача многокритериальная и определяется значительным количеством гипотез, то целесообразно использовать для ее решения более сложные и эффективные методы, такие как метод анализа иерархий. Приведем несколько примеров использования указанных методов в практике управления фирмой.

Рассмотрим использование данных методов на примере конкретных задач.

1. *Метод построения матрицы последствий.* Значения, расположенные по строкам матрицы, интерпретируются как возможные альтернативы (стратегии) принятия решения, а по столбцам — как условия, в которых проходит процесс принятия решения. Условия задаются в результате прогноза гипотез развития проблемной ситуации под воздействием внутренних и внешних факторов воздействия. Эти факторы получили название *состояние природы*. Они задают возможные ситуации, в которые может превратиться проблемная ситуация, и определяют параметры, которые оказывают влияние на последствия при принятии тех или иных решений.

Каждая клетка матрицы, представляющая собой пересечение строки и столбца (т. е. комбинацию выбора определенной стратегии и состояния природы), содержит оценку последствий такого выбора (например, в рублях, относительных единицах, рангах и пр.). Такая оценка называется значением функции полезности альтернативы по некоторой гипотезе. Если известно, какое состояние природы является превалирующим (т. е. вероятность его наступления максимальна), то лицо, принимающее решение, может просто выбрать стратегию, соответствующую максимальной оценке при этом состоянии природы.

Типовое представление задачи такого вида в табл. 13.15.

Таблица 13.15. Матрица исходных данных по *JS*-задаче

Альтернативные решения, y_i	Возможные гипотезы развития проблемы (состояние среды, s_j)			
	s_1	s_2	...	s_n
y_1	u_{11}	u_{12}	...	u_{1n}
y_2	u_{21}	u_{22}	...	u_{2n}
...	...	...	...	...
y_m	u_{m1}	u_{m2}	...	u_{mn}
Вероятность наступления гипотезы	$P(s_1)$	$P(s_2)$	...	$P(s_n)$

Поясним смысл матрицы последствий на следующем примере, содержание которого приведено в табл. 13.16.

Пример 13.3. Постановка задачи. Владелец придорожного ресторана на международной трассе Тольятти–Сызрань (**М5**) должен принять решение и оценить последствия выбора одной из альтернатив стратегии поведения, которая зависит от наступающих событий (возникших состояний природы).

Владелец, он же ЛПР, может выбрать один из трех альтернативных вариантов:

- а) оставить все как есть;
- б) слегка подновить ресторан (текущий ремонт);
- в) полностью его перестроить (капитальный ремонт).

В силу возникновения внешних и внутренних факторов, повлиявших на состояние ресторана, формализованы три независимых условия (влияющих фактора), от которых зависит оценка выбора той или иной альтернативы:

- 1) изменится направление автострады **М5** в связи с длительным ремонтом федеральной трассы и переориентацией автомобильного потока по участку трассы Ульяновск–Димитровград в обход данного участка, что весьма сократит поток клиентов;
- 2) в связи с развитием инфраструктуры автотрассы и перевода его статуса к международному транзитному коридору конкурент откроет поблизости свой ресторан;
- 3) условия останутся старыми, т. е. факторы воздействия весьма малы.

Здесь и далее все оценки функции полезности и расчеты приводятся в условных денежных единицах (д. е.).

Таблица 13.16. Матрица последствий выбора альтернатив для владельца

Альтернативы решения	Состояние природы (наступающее с некоторой вероятностью)		
	без изменений	новый конкурент	изменение стратегии
Ничего не менять	2	0	–1
Текущий ремонт	4	3	–3
Капитальный ремонт	7	2	–10
Вероятность события	0,5	0,2	0,3

Владелец провел подсчет возможной полезности каждого решения и сформулировал эти оценки в тысячах денежных единиц. Кроме того, анализ возможности наступления каждого допустимого события из множества гипотез позволил определить вероятность наступления каждой гипотезы. Таким образом, в ячейках матрицы приведены значения функции полезности возможных комбинаций выбора стратегий и условий, которая определяется как величина потенциальной прибыли или потеря.

Так, например, решение провести *текущий ремонт* при неизменных условиях даст прибыль в размере 4000 д. е.; при появлении нового конкурента — 3000 д. е., а при изменении направления автострады возникнут убытки в размере 3000 д. е.

Если допустить, что условия эксплуатации ресторана не изменятся, лучшей альтернативой будет капитальный ремонт. Однако если известны вероятности того или иного состояния природы $p_1 = 0,5$; $p_2 = 0,2$; $p_3 = 0,3$, то ожидаемая ценность каждой стратегии определится суммой произведений оценок на их вероятность для каждой строки.

При этом для данных в табл. 13.16 используется формула взвешенной оценки полезности вида

$$u_i = \sum_{j=1}^n P(s_j) \cdot u_{ij}.$$

С учетом взвешенной оценки получим для каждой строки матрицы последствий выбора альтернатив следующую таблицу взвешенных по вероятности полезностей (табл. 13.17).

Таблица 13.17. Оценка альтернатив с учетом вероятности гипотез

Альтернативы решения	Расчет ожидаемой полезности решения
Ничего не менять	$0,5 \times 2 + 0,2 \times 0 + 0,3 \times (-1) = 0,7$
Текущий ремонт	$0,5 \times 4 + 0,2 \times 3 + 0,3 \times (-3) = 1,7$
Капитальный ремонт	$0,5 \times 7 + 0,2 \times 2 + 0,3 \times (-10) = 0,9$

Как видно из таблицы, вторая стратегия максимизирует ожидаемую прибыль. Если владелец не в состоянии указать априорные вероятности наступления тех или иных состояний природы, то целесообразно использовать методы принятия решений, ориентированные на работу в условиях полной неопределенности. К ним следует отнести метод построения дерева решений.

2. *Метод построения дерева решений* может быть полезен в тех случаях, когда ЛПР должен последовательно принимать несколько связанных решений. Аналогия с деревом предполагает, что имеется некоторое исходное (корневое) решение, из которого, как ветви, расходятся другие (производные) решения. Поясним данный метод на следующем примере.

Пример 13.4. Описание ситуации. Компания, владеющая сетью отелей по всему миру, рассматривает вопрос о создании нового отеля в одной из развивающихся стран. Решение, которое необходимо принять, заключается в выборе одной из альтернатив:

- строить отель;
- арендовать отель;
- выполнение вышеуказанных действий с помощью местного финансового партнера или без него — индивидуально.

Для каждой альтернативы проводится анализ проблемной ситуации в виде расчета экономической активности и прибыли с указанием вероятности возникновения той или иной гипотезы. Полный анализ, изображенный в графическом виде, представляется как дерево решений (на рис. 13.2 дерево показано слева направо).

В данном случае с точки зрения теории игр ЛПР «играет» против природы, состояние которой оценивается следующими факторами:

- решением правительства о статусе нового отеля (свободное международное предприятие или выкуп его строителем);
- уровнем экономической активности, определяющимся доходностью отеля, справедливостью оценки затрат на строительство.

1. *Анализ первой альтернативы.* Анализ дерева решения начнем с верхней ветви (ветвь 9), а результаты исследования проблемы занесем в табл. 13.18.

Для ветви 10 получим следующую матрицу расчета (табл. 13.19).

Далее для ветви 3, учитывая составляющие ветвей 7, 8, получим следующую матрицу (табл. 13.20).

Оценка первой альтернативы. Итак, значение функции полезности в виде ожидаемой прибыли от реализации альтернативы: *строить отель, полностью принадлежащий компании*, составила 16 тыс. д. е.

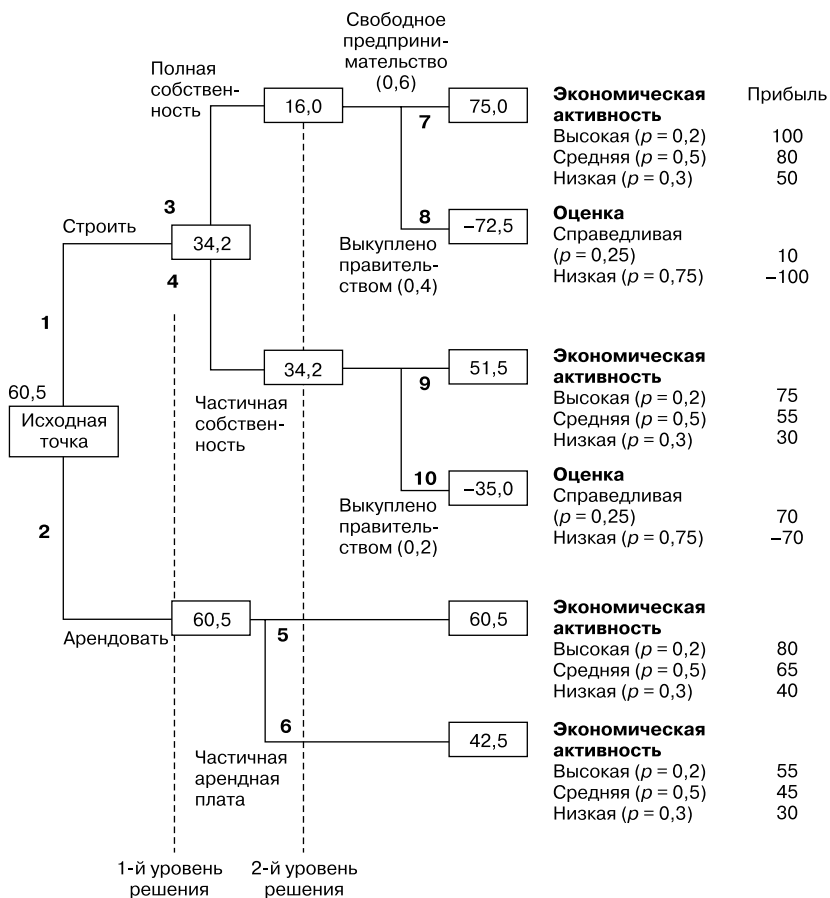


Рис. 13.2. Дерево решений о создании отеля

Таблица 13.18. Оценка ветви 9

Вероятность гипотезы	Прибыль (расчетная)	Прибыль ожидаемая
0,2 *	100 =	20
0,5 *	80 =	40
0,3 *	15 =	15
Итого		75

Таблица 13.19. Оценка ветви 8

Вероятность гипотезы	Прибыль (расчетная)	Прибыль ожидаемая
0,25 *	10 =	2,5
0,75 *	-100 =	-75
Итого		-72,5

Таблица 13.20. Оценка ветви 3

Ветвь дерева решения	Вероятность гипотезы	Прибыль (расчетная)	Прибыль ожидаемая
7	0,6 *	75 =	45
8	0,4 *	-72,5 =	-29
Итого			16

2. *Анализ второй альтернативы.* Определим значение функции полезности для цепочки: $4 \rightarrow (9, 10)$.

Для этого проведем анализ дерева решения начиная с ветви 9, а результаты исследования проблемы и оценки решения занесем в табл. 13.21.

Таблица 13.21. Оценка ветви 9

Вероятность гипотезы	Прибыль (расчетная)	Прибыль ожидаемая
0,2 *	75 =	15
0,5 *	55 =	27,5
0,3 *	30 =	9
Итого		51,5

Для ветви 10 получим матрицу расчета (табл. 13.22).

Таблица 13.22. Оценка ветви 10

Вероятность гипотезы	Прибыль (расчетная)	Прибыль ожидаемая
0,25 *	70 =	17,5
0,75 *	-70 =	-52,5
Итого		-35

Далее для ветви 4, учитывая составляющие ветвей 9, 10, получим следующую матрицу (табл. 13.23).

Таблица 13.23. Оценка ветви 4

Ветвь дерева решения	Вероятность гипотезы	Прибыль (расчетная)	Прибыль ожидаемая
9	0,8 *	51,5 =	41,2
10	0,2 *	-35 =	-7
Итого			34,2

Оценка второй альтернативы. Значение функции полезности в виде ожидаемой прибыли от реализации альтернативы: *строить отель, если в долю инвестиции по строительству войдут местные организации*, составит 34,2 тыс. д. е.

3. *Анализ третьей альтернативы.* Определим значение функции полезности для цепочки: $2 \rightarrow (5, 6)$.

Для этого проведем анализ дерева решения, начиная с ветви 5, а результаты исследования проблемы и оценки решения занесем в табл. 13.24.

Таблица 13.24. Оценка ветви 5

Вероятность гипотезы	Прибыль (расчетная)	Прибыль ожидаемая
0,2 *	80 =	16
0,5 *	65 =	32,5
0,3 *	40 =	12
Итого		60,5

Для ветви 6 получим матрицу расчета (табл. 13.25).

Таблица 13.25. Оценка ветви 6

Вероятность гипотезы	Прибыль (расчетная)	Прибыль ожидаемая
0,2 *	55 =	11
0,5 *	45 =	22,5
0,3 *	30 =	9
Итого		42,5

Далее, для ветви 2, учитывая составляющие ветвей 5, 6, получим следующую матрицу (табл. 13.26).

Таблица 13.26. Оценка ветви 2

Ветвь дерева решения	Вероятность гипотезы	Прибыль (расчетная)	Прибыль ожидаемая
5	1,0 *	60,5 =	60,5
6	0,0 *	42,5 =	0
Итого			60,5

Оценка третьей альтернативы. Значение функции полезности в виде ожидаемой прибыли от реализации альтернативы: *отказаться от строительства в пользу аренды*, составит 60,5 тыс. д. е.

Итак, общая постановка задачи после анализа проблемы может быть описана следующей матрицей из табл. 13.27.

Таким образом, альтернативы решения представляют собой следующие варианты организации гостиницы:

1. Ожидаемая прибыль от решения *строить отель*, полностью принадлежащий компании, составила 16 д. е., Y_1 .

Таблица 13.27. Обобщенная постановка задачи

Альтернативы решения	Обобщенная функция полезности (ожидаемая прибыль, тыс. д. е.)
Y_1 (строить отель, полностью принадлежащий компании)	16,0
Y_2 (строить отель, если в долю инвестиции по строительству войдут местные организации)	34,2
Y_3 (полная аренда)	60,5

2. В том случае, если в долю инвестиции по строительству войдут местные организации, ожидаемая прибыль — 34,2 д. е., Y_2 .

3. Если принято решение отказаться от строительства в пользу аренды, ожидаемая прибыль — 60,5 д. е., Y_3 .

Используя принцип максимизации полезности, наилучшее решение ищем по следующему правилу:

$$Y^* = \max [16; 34,2; 60,5] = 60,5.$$

Таким образом, наиболее рациональной альтернативой при полученных учетных показателях эффективности проектов является 3-й вариант, $Y^* \rightarrow Y_3$.

Использование матриц последствий в качестве исходных данных предполагает оценку вероятностей. Объективные вероятности (статистические вероятности), требующие для своего определения анализа большого числа аналогичных ситуаций, здесь неприемлемы. Обычно для экономических проблемных ситуаций нет возможности выделить сложные типовые проблемы. Поэтому в таких случаях используются так называемые субъективные вероятности, или нечеткие оценки, наступления тех или иных событий.

13.5. Методы выбора в условиях полной или частичной неопределенности

К наиболее часто используемым методам выбора можно отнести принцип гарантированного результата (принцип максимина), принцип оптимизма, принцип Гурвица, принцип Сэвиджа (минимаксного сожаления) и др.

Рассмотрим некоторые из них¹:

1. *Принцип максимина (гарантированного результата).*

В этом случае каждая стратегия характеризуется гарантированным уровнем желательности, т. е. значением критерия, соответствующего наименее благоприятному состоянию природы:

¹Конаненко А. Ф., Халезов А. Д., Чумаков В. В. Принятие решений в условиях неопределенности; Кулиев Р. И. Принятие решений в условиях неопределенности; Тронь А. П. Критерии оптимального выбора в неопределенных условиях. — Киев: ИУНХ, 1986. 91 с.; Чумаков В. В., Чумаков И. В. Принятие решений в условиях объективной и необъективной неопределенности / Препринт ВЦ АН СССР, 1991. 48 с.

$$u(a) = \min_{\Phi} u(y, f),$$

или

$$u(y_i) = \min_j u_{ij}.$$

Тогда стратегия a_i , для которой имеется уровень полезности $u(a_i)$, представляет собой минимальное значение, на которое согласен ЛПР. Естественно, что чем выше абсолютное значение этого минимума, тем нежелательнее вариант. Таким образом, оптимальной для данного метода выбора будем считать такую стратегию a^* , для которой гарантированный результат будет максимальным, т. е.

$$u(y^*) = \max_i \min_j u_{ij},$$

или, переходя к исходным состояниям, имеем:

$$u(y^*) = \max_Y \min_{\Phi} (u(a, f)).$$

Подобные задачи принятия решений с наличием неопределенностей называются **игрой с природой**. При этом ЛПР требуется сделать выбор из множества допустимых действий, принятие которых зависит от того, какое конкретное состояние природы будет иметь место. Предполагается при этом, что множество состояний природы есть система несовместных событий. И она неизвестна ЛПР.

Так, например, построим матрицу из 3 альтернатив $\{y_1, y_2, y_3\}$ и 4 состояний природы $\{f_1, f_2, f_3, f_4\}$ (табл. 13.28).

Таблица 13.28. Матрица описания задачи

	f_1	f_2	f_3	f_4
y_1	2	6	9	4
y_2	5	3	7	4
y_3	4	8	7	5

Рассматривая простейшую процедуру выбора и используя элементы данной матрицы, проведем минимаксный выбор.

На первом этапе определим минимальное значение исходов по каждой альтернативе.

Для альтернатив a_1, a_2, a_3 получим:

$$u(y_1) = \min (2, 6, 9, 4) = 2;$$

$$u(y_2) = \min (5, 3, 7, 4) = 3;$$

$$u(y_3) = \min (4, 8, 7, 5) = 4.$$

На втором этапе определяем максимальное из минимальных значений по всем стратегиям y_1, y_2, y_3 .

$U(y^*) = \max (u(y_1)_{\min}, u(y_2)_{\min}, u(y_3)_{\min}) = \max (2, 3, 4) = 4$, что соответствует стратегии y_3 .

То есть оптимальной для данного метода выбора является стратегия y_3 , гарантирующая значение $u(y_3) = 4$. Следовательно, оптимальной считается стратегия y_3 .

2. *Принцип оптимизма*. Если метод гарантированного результата ориентирован на получение гарантированного минимума желательности (т. е. не хуже), то принцип **оптимизма** учитывает возможность получения максимального уровня $u(y)$, т. е. осуществляется принцип выбора по значению критерия «наилучший».

$$u(y^*) = \max_i \max_j u_{ij}.$$

Используя данные табл. 13.28 для формирования стратегии оптимизма, получаем следующие данные:

$$u(y_1) = \max (2, 6, 9, 4) = 9;$$

$$u(y_2) = \max (5, 3, 7, 4) = 7;$$

$$u(y_3) = \max (4, 8, 7, 5) = 8.$$

Максимальные значения полезности равны: $u(y_1)_{\max} = 9$, $u(y_2)_{\max} = 7$, $u(y_3)_{\max} = 8$.

А оптимальной стратегией будет та, которая имеет максимальное из полученных стратегий и определяется следующим выражением:

$$u(y^*) = \max_{\alpha} (u(y_1), u(y_2), u(y_3)) = \max_{\alpha} (9, 7, 8),$$

что соответствует оптимальной стратегии y_1 .

3. *Принцип Гурвица (комбинированный)*. Здесь используются взвешенные значения наихудшей (принцип гарантированного результата) и наилучшей (принцип оптимизма) стратегии. Каждая стратегия характеризуется некоторым показателем важности α , значение которого изменяется в интервале $[0, 1]$, т. е. $\alpha = [0, 1]$. Причем процедура выбора также базируется на функции полезности $u(a)$ и определяется по следующей формуле:

$$u(y) = \alpha \times u_1 + (1 - \alpha) \times u_2,$$

где

$$u_1 = \min_f u(y_i, f_j); \quad u_2 = \max_f u(y_i, f_j),$$

или же

$$u(y^*) = \max_i [\alpha \times u_1 + (1 - \alpha) \times u_2].$$

При этом наиболее предпочтительной является такая стратегия y^* , значение функции полезности которой будет максимально, т. е.

$$u(y^*) = \max_i [\alpha \times \min_j u_{ij} + (1 - \alpha) \times \max_j u_{ij}].$$

Если коэффициент a примет крайние значения из интервала, то получаем функции, реализующие разные стратегии. Если $a = 1$, то получим метод *гарантированного результата*; если $a = 0$ — метод *оптимизма*. Коэффициент a назначается субъективно (т. е. самим ЛПР) и характеризует для него степень важности стратегии.

Пусть $a = 0,7$, тогда:

$$u(y_1) = 0,7 \times u(y_1)_{\min} + (1 - 0,3) \times u(y_1)_{\max};$$

$$u(y_2) = 0,7 \times u(y_2)_{\min} + (1 - 0,3) \times u(y_2)_{\max};$$

$$u(y_3) = 0,7 \times u(y_3)_{\min} + (1 - 0,3) \times u(y_3)_{\max},$$

или, переходя к конкретным значениям, получим (для предыдущего примера из табл. 13.2):

$$u(y_1^*) = 0,7 \times 2 + 0,3 \times 9 = 1,4 + 2,7 = 4,1;$$

$$u(y_2^*) = 0,7 \times 3 + 0,3 \times 5 = 2,1 + 1,5 = 3,6;$$

$$u(y_3^*) = 0,7 \times 4 + 0,3 \times 8 = 2,8 + 2,4 = 5,2.$$

Тогда

$$u(y^*) = \max_i (u(y_1^*), u(y_2^*), u(y_3^*)) = \max_i (4,1; 3,6; 5,2) = 5,2.$$

Оптимальной для данного метода выбора будет стратегия y_3 .

4. *Принцип минимаксного сожаления (принцип Сэвиджа)*. Этот принцип характеризует потенциальные потери, которые могут появиться, если будет выбрано неоптимальное решение.

Для каждого состояния $f_j \subseteq \Phi$ по всем стратегиям A определяется величина $\max u(y, f)$, которая показывает, какой возможный наилучший уровень желательности (полезности) u можно получить при конкретном значении неопределенного фактора f_j . Этот уровень u мог бы быть достигнут, если бы ЛПР знало, как изменяется состояние природы.

Затем строится критерий сожаления (риска) как разница между выбранной u и наилучшей $\max u$ стратегиями, т. е.

$$W(y, f) = \max_y u(y, f) - u(y, f),$$

где $W(y, f)$ показывает те потери, которые потенциально несет ЛПР при выборе неоптимальной стратегии. Таким образом, показатель $W(y, f)$ отражает разницу между максимально возможной и выбранной стратегиями.

При этом функция $W(y, f)$ характеризует потенциальный риск, на который идет ЛПР при выборе некоторой стратегии с ненаилучшим уровнем полезности. А далее выбирается в качестве оптимальной такая стратегия, которая имеет наименьший показатель риска $W(y, f)$.

Рассмотрим предыдущий пример (табл. 13.28). Для состояния природы f_1 при выборе, например, стратегии y_2 ЛПР не испытывает сожаления, так как выбрало правильную стратегию, т. е. максимальное значение (значение полезности для состояния f_1 по стратегии y_2 составляет $u_{21} = 5$) из возможных стратегий $\{y_1, y_2, y_3\}$ для данного состояния природы f_1 . Однако если он выберет стратегии y_1 или y_3 , то разница между выбранными стратегиями и потенциальными потерями выгоды из-за неправильного выбора стратегии с максимальным значением полезности (y_2) составит по состоянию f_1 :

$$\text{для стратегии } y_1 \quad u_{21} - u_{11} = 5 - 2 = 3;$$

$$\text{для стратегии } y_3 \quad u_{21} - u_{31} = 5 - 4 = 1.$$

Аналогично для факторов f_2, f_3, f_4 имеем следующие величины потерь:

для состояния f_2 :

$$\text{для стратегии } y_1 \quad u_{32} - u_{12} = 8 - 6 = 2;$$

$$\text{для стратегии } y_2 \quad u_{32} - u_{22} = 8 - 3 = 5;$$

для состояния f_3 :

$$\text{для стратегии } y_2 \quad u_{13} - u_{23} = 9 - 7 = 2;$$

$$\text{для стратегии } y_3 \quad u_{13} - u_{33} = 9 - 7 = 5;$$

для состояния f_4 :

$$\text{для стратегии } a_1 \quad u_{34} - u_{14} = 5 - 4 = 1;$$

$$\text{для стратегии } a_2 \quad u_{34} - u_{24} = 5 - 4 = 1.$$

На основании этих потенциальных потерь строится матрица сожалений (табл. 13.3) (матрица потенциальных потерь), где каждый элемент матрицы определяется в виде

$$W_{ij} = \max_j u_{ij} - u_{ij}.$$

Далее по табл. 13.29 найдем максимальные потери для каждой строки, т. е. выберем минимаксную стратегию:

$$W(ya_i) = \max_j [\max_j u_{ij} - u_{ij}].$$

Таблица 13.29. Матрица потенциальных потерь

Факторы		f_1	f_2	f_3	f_4
Альтернативы	a_1	3	2	0	1
	a_2	0	5	2	1
	a_3	1	0	5	0

Оптимальной для данного метода выбора будет та стратегия (строка), которая имеет минимальные потери, т. е. удовлетворяющая условию

$$W(y^*) = \min_i \max_j [\max_j u_{ij} - u_{ij}]. \quad (13.4)$$

Подставляя данные и последовательно решая (13.4), получим:

$$W(y_1) = \max_j (3; 2; 0; 1) = 3;$$

$$W(y_2) = \max_j (0; 5; 2; 1) = 5;$$

$$W(y_3) = \max_j (1; 0; 5; 0) = 5,$$

тогда имеем $W(y_1) = 3$, $W(y_2) = 5$, $W(y_3) = 5$.

И оптимальная стратегия определяется в виде

$$W(y^*) = \min_i [3; 5; 5] = 3.$$

Оптимальной здесь является стратегия y_1 , имеющая минимальные потери выгоды (т. е. стратегия с минимальным риском).

Данный принцип можно использовать, если уровни полезности можно оценить количественно, т. е. они измерены по шкале отношений.

5. *Принцип недостаточного основания* (принцип Бернулли–Лапласа). При использовании данного принципа выбора проблема неопределенности сводится к проблеме оценки случайных факторов. При этом природная неопределенность f представляется в виде:

- а) дискретной случайной величины;
- б) непрерывной случайной величины.

В *первом случае* неопределенность представляется в виде возможных дискретных значений неопределенного фактора $\Phi = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$, где Φ конечно, и вероятностей появления неопределенных факторов $P(f_i)$. Принимая значения факторов равновероятными: $P(f_1) = P(f_2) = \dots = P(f_m) = 1/m$, оценим полезность (желательность) каждой стратегии, используя принцип средних результатов:

$$u(y_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m u_{ij}.$$

Оптимальная стратегия формулируется в виде максимума полезности:

$$u(y^*) = \max_i u(y_i) = \max_i \left[\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m u_{ij} \right]. \quad (13.5)$$

Коэффициентом $(1/m)$ в (13.5) можно пренебречь, так как он одинаков для всех стратегий. Тогда можно увидеть, что *принцип недостаточного основания* аналогичен принципу максимизации аддитивного критерия:

$$u(y^*) = \max_i \sum_{j=1}^m u_{ij}.$$

Рассматривая пример, приведенный в табл. 13.28, и получая сумму значений полезности по каждой стратегии, имеем:

$$\begin{aligned} u(y_1) &= \sum_{j=1}^m u_{ij} = u_{11} + u_{12} + u_{13} + u_{14} = 2 + 6 + 9 + 4 = 21; \\ u(y_2) &= \sum_{j=1}^m u_{ij} = u_{21} + u_{22} + u_{23} + u_{24} = 5 + 3 + 7 + 4 = 19; \\ u(y_3) &= \sum_{j=1}^m u_{ij} = u_{31} + u_{32} + u_{33} + u_{34} = 4 + 8 + 7 + 5 = 24. \end{aligned}$$

Оптимальная стратегия при данном методе выбора определяется выражением:

$$u(y^*) = \max_i \left[\sum_{j=1}^m u_{ij} \right] = \max[21; 19; 24] = 24.$$

Таким образом, оптимальной стратегией здесь является a_3 .

Для *второго случая*, когда Φ представлена в виде равномерно распределенной случайной величины f , для вычисления оптимальной стратегии используется плотность распределения случайной величины $f(x)$. Тогда

$$u(a_i) = f(x) \int_{x_1}^{x_2} u(a, f) df.$$

Так, например, для отрезка $[x_1, x_2]$ функцию $f(x)$ можно задать:

$$\text{где } f(x) = \begin{cases} 1/(x_2 - x_1), & \text{если } x_1 \leq x \leq x_2, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (13.6)$$

и тогда

$$u(a_i) = f(x) \int_{x_1}^{x_2} u(a, f) df = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} u(a, f) df. \quad (13.7)$$

Переход к вероятностным значениям неопределенного фактора характеризует группу методов принятия решений в условиях риска, где для каждого состояния среды (внешних факторов) определены субъективные вероятности.

Раздел 5. ЭКСПЕРТНЫЕ (ГРУППОВЫЕ) МЕТОДЫ ВЫБОРА В СЛОЖНЫХ ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Глава 14. ЗАДАЧИ ГРУППОВОГО ВЫБОРА: КЛАССИФИКАЦИЯ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Сложность и взаимозависимость технических, организационных, социально-экономических и других аспектов управления современным производством приводят к тому, что на принятие управленческого решения влияют десятки и даже сотни разнообразных факторов, настолько переплетающихся друг с другом, что выделить и проанализировать их отдельно обычными аналитическими методами невозможно.

Многие факторы, определяющие или влияющие на выбор решения, по своей природе не поддаются количественной характеристике, другие — практически не могут быть измерены. Все это сделало необходимой разработку специальных методов, облегчающих выбор управленческих решений в сложных технических, организационных, экономических задачах (методы исследования операций, экспертные оценки и др.).

В практике управления экономическими системами часто встречаются такие проблемные ситуации, для которых частично или полностью неизвестна или труднодоступна информация для описания проблемной ситуации или которые невозможно формализовать с достаточной точностью. Такие проблемы обычно решаются с помощью привлекаемой группы экспертов, анализирующих и оценивающих имеющуюся проблемную ситуацию и генерирующих некоторое множество альтернатив ее решения. Суть метода принятия решений с привлечением экспертов состоит в том, чтобы получить индивидуальные оценки от каждого эксперта и сформулировать обобщенное мнение о наилучшем объекте (решении) для всей группы в целом.

К задачам группового выбора относятся задачи типа *G*: простые (однокритериальные с одной вполне определенной ситуацией); однокритериальные,

доопределяемые множеством гипотез (GS); многокритериальные с вполне определенной ситуацией (GA); многокритериальные, доопределяемые множеством гипотез развития событий (GSA).

Так, например, из приведенной группы задач одной из наиболее простых является задача типа G , характеристики которой описаны в п. 3.2. В задачах такого класса указываются характеристики проблемной ситуации: полная информация о проблеме, множество возможных альтернатив решения, один критерий эффективности, наличие группы экспертов для решения задачи, функции полезности по всем альтернативам, методы группового выбора. Данные задачи имеют простую структуру проблемы, т. е. существует полная информация по проблеме, выбор осуществляется по одному критерию, но решается данная задача группой экспертов. Задачи других классов имеют более сложную структуру и соответственно требуют иных методов решения.

Однако можно выделить некоторую совокупность операций по решению задач такого типа, которые и характеризуют технологию решения.

Технология решения задач принятия решений группой экспертов аналогична технологии индивидуального выбора и содержит те же обобщенные процедуры и операции: осознание и выявление проблемы, ее анализ, информационную подготовку решений, поиск и принятие решений, реализацию решений и т. д. Рассмотрим отдельные процедуры группового выбора, характеризующие особенности экспертных методов¹.

Анализ и оценка проблемной ситуации экономического объекта проводится в условиях неопределенности, поэтому для ее снятия привлекается группа экспертов. Сама процедура проведения экспертного опроса и оценки мнений проводится в несколько этапов:

- отбор и формирование экспертной группы;
- проведение опроса;
- обработка результатов опроса и их анализ;
- формирование решения.

Содержание *первого этапа* в основном сводится к отбору группы экспертов. При этом необходимо учитывать следующие факторы, которым должен отвечать эксперт и соответствие которым необходимо отслеживать: компетентность экспертов, независимость экспертов, их деловые качества, совпадение целей экспертизы для экспертов.

¹ Евланов Л. Г. Теория и практика принятия решений; Елтаренко Е. А. Методы оценки и выбора инженерных и управленческих решений; Елтаренко Е. А. Элементы теории измерений; Кастеллани К. Автоматизация решения задач управления. — М.: Мир, 1982, 471 с.; Кокин А. С. Математические методы выработки оптимальных решений в процессе управления. — Горький: ГИСИ, 1987. 73 с.; Мулен Э. Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели. — М.: Мир, 1991. 281 с.; Принятие решений и анализ экспертной информации // Вопросы кибернетики. НС по КП «Кибернетика». — М., 1989. Вып. 151. 210 с.; Теория выбора и принятия решений: Учеб. пособие / Под ред. И. М. Макарова.

Количество экспертов в группе должно составлять от 5 до 15 человек. Если членов экспертной комиссии больше указанного числа, то процедура принятия решения ухудшается из-за увеличения времени оценки и анализа проблемной ситуации, сложности процессов согласования мнений экспертов, снижения качества статистической обработки данных.

На *втором этапе* необходимо задать процедуру оценивания, указать тип шкалы, по которой необходимо оценивать объекты, и определить основные оцениваемые параметры объектов. Процедура оценивания обычно проводится в виде интервью, анкетирования (когда анкета апробирована) либо дискуссии.

На *третьем этапе* осуществляется обработка данных, полученных на этапе оценивания. Данные сводятся в специальные таблицы как отдельно по каждому эксперту, так и по всей группе в целом. Обработка может быть количественной (статистической) и качественной. При этом оцениваются и эксперты, и сама проблемная ситуация.

На основе личных оценок каждого эксперта вычисляются групповые, которые дополнительно оцениваются на достоверность, причем считаются таковыми, если индивидуальные оценки экспертов согласованы между собой (не разбросаны). В качестве критерия достоверности могут быть использованы коэффициенты согласия, вычисляемые на базе коэффициента множественной корреляции.

На *четвертом этапе* производится формирование решений с использованием различных известных стратегий принятия решений.

Дадим формальную постановку наиболее простой задачи группового выбора — задачи типа G , которая определяется следующими параметрами.

Задана проблемная ситуация S_o , для которой определено множество допустимых альтернатив $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$. Для измерения качества решения (альтернативы) необходимо сформулировать функцию полезности (предпочтения) и найти ее значения в виде f_{ij} , т. е. задать вектор значений функция полезности $\{f_{ij}\}$.

Обычно в связи с важностью решаемой задачи определяют несколько ЛПР, которые реализуют процесс решения данной задачи. Тем самым задается группа экспертов G , которые решают данную задачу индивидуально, $G \subseteq \{J_1, J_2, \dots, J_m\}$.

14.1. Постановка и формализация групповых задач принятия решения (задачи типа G)

Методы решения задач выбора с помощью групповых (экспертных) оценок применяются в тех случаях, когда задача полностью или частично не поддается формализации и не может быть решена известными математическими методами.

Решение задачи в этом случае сводится к проведению экспертизы, представляющей собой исследование сложных специальных вопросов на стадии выработки управленческого решения лицами, обладающими специальными зна-

ниями, опытом, в целях получения выводов, мнений, рекомендаций, оценок. В ходе экспертных исследований используются новейшие достижения науки и техники по специальности эксперта, его опыт и знания. Систематизируем возможные группы задач, которые могут быть решены с помощью экспертных оценок.

По количеству лиц, принимающих решение, выделяют следующие задачи:

1. Задачи *индивидуального выбора*, когда решения формирует и принимает отдельный субъект (руководитель, главный специалист или другой человек), наделенный полномочиями и ресурсами для принятия решений в соответствующей сфере и на соответствующем этапе процесса управления.

2. Задачи *группового выбора*, когда в решении задачи участвуют несколько экспертов, образующих группу лиц, или групповое ЛПР. Задачи такого типа называются экспертными или групповыми задачами и характеризуются дополнительными параметрами, учитывающими процедуры взаимодействия лиц при решении групповых задач. В качестве группового ЛПР может быть группа менеджеров или консультантов-специалистов по конкретным решаемым проблемам.

Рассмотрим задачу принятия решений на примере простой однокритериальной задачи, решаемой индивидуальным ЛПР. Если задача однокритериальная, то процедура выбора при наличии всей необходимой информации достаточно проста — все альтернативы ранжируются по этому единственному критерию. Если же имеется несколько критериев, на основании которых необходимо формировать выбор, то задача усложняется даже при известной (определенной) информации о ПС. В этом случае дополнительно необходимо сформировать принципы P , многокритериального выбора таким образом, чтобы можно было устранить зависимости критериев от цели:

$$P_p : F(f(Y_p, S_o, A_k)) = f(Y_p, A_k).$$

Таким образом, для решения проблемы S_o мы можем построить для каждой цели A некоторую функцию предпочтения P , на основании которой можно упорядочить (ранжировать) решения Y с точки зрения возможности достижения всех целей:

$$P \rightarrow S_j : R_c | P(Y_z) \rightarrow (S_j > S_m) \rightarrow (P(Y_i) > P(Y_m))$$

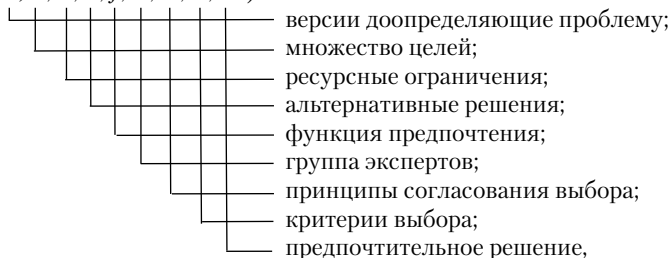
для z -го критерия множества критериев K , ($z \in K$).

Другим способом снятия зависимости является метод, при котором множество критериев свертываются в интегральный вектор предпочтений:

$$K : F(f(Y_p, S_j)) = f(Y_j).$$

На основании такого интегрального критерия $K = f(Y)$ также можно найти предпочтительное решение Y^* .

Таким образом, данная задача принятия решений может быть записана в виде следующей схемы:

$$(S_0, T, R | S, A, B, Y, f, G, \Pi, K, Y^*)$$


где S_0 — проблемная ситуация; T — время на принятие решений; R — ресурсы, потребные для принятия и реализации решения; S — множество альтернативных ситуаций, доопределяющих S_0 ; A — цель решения задачи; B — ограничения на решение задачи; Y — альтернативы; f — функция предпочтения (возможна связь типа $f = F(A, S, Y)$); Π — принципы проведения группового выбора; K — критерий выбора, $K = \phi(A)$; Y^* — оптимальное решение.

Таким образом, например, задача группового принятия решений для однокритериальной задачи $K = 1$ будет описываться следующими параметрами:

$$\langle S_0, T, R | S, A, B, Y, f, G, \Pi, K, Y^* \rangle. \quad (14.1)$$



В приведенной модели (14.1) слева от вертикальной черты расположены исходные данные, на базе которых строится модель принятия решений, справа — промежуточные и результирующие данные, которые необходимо определить в процессе решения задачи.

Функция предпочтения $f(A, S_0, Y)$ может задаваться как в абсолютных, так и в относительных единицах. Абсолютная оценка на практике может осуществляться лишь в редких случаях, когда известна количественная информация о параметрах и критериях выбора, измеренных в показателях исследуемого процесса (цена, объем производства, уровень рентабельности и пр.), относительная — в подавляющем большинстве реальных задач принятия решения. Такая оценка может быть либо качественной (тогда все альтернативные варианты решения Y упорядочиваются по убыванию предпочтений), либо количественной (тогда производится сравнение, во сколько раз (на сколько процентов) одно решение лучше или хуже другого). Выбор оптимального (наилучшего, рационального) решения Y^* производится по критерию K , сформулированному ЛПР.

Приведенная выше формальная модель может быть интерпретирована следующим образом. Проблемная ситуация S_0 описывается содержательно и по возможности включает количественные характеристики данного состояния. Необходимо описать условия, причины возникновения и развитие S_0 . Значение T существенно влияет на процесс принятия решения, так как возможны

изучение дополнительной информации о состоянии проблемной ситуации S_0 и ее подробное исследование. Если нет определенности в развитии S_0 , то возможно задание множества гипотез $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_m)$, которые доопределяют текущую проблему и являются взаимоисключающими. Такое дополнение проблемной ситуации необходимо в условиях неполной информации о ПС, если затраты на информационное доопределение оправдываются результатами. Элементы множества S представляют собой взаимоисключающие (альтернативные) варианты возможного развития проблемы. Для каждой S_i желательно сопоставить некоторую вероятность ее появления $P(S_i)$.

Для выявления и обоснования желаемого целевого состояния экономической системы S_c , в которое ее необходимо перевести, формулируют некоторое множество целей $(A_1, A_2, \dots, A_k) = A$. Описание целей также должно осуществляться на содержательном уровне с возможными количественными характеристиками. В этой совокупности характеристик должны быть некоторые параметры, которые определяют так называемые критерии достижения цели, показатели степени достижения цели и их приоритеты.

Принятие конкретных решений всегда осуществляется в условиях ограничений на R (ресурсы). Поэтому необходимо сформулировать систему ограничений $B = (B_1, B_2, \dots, B_m)$, которые учитываются при принятии решений.

Для достижения целей A формируется множество альтернативных вариантов решения $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$, из которых должно быть выбрано оптимальное (или приемлемое) решение Y^* . Решения можно описать содержательно, формализованно или в смешанном виде.

Функция $f = F(A, S, Y)$ — специально введенная функция, отражающая предпочтения вариантов, целей и др., используется для описания оценки решений по достижению целей в условиях возможных ситуаций. Оценка решения может быть выражена либо в абсолютных, либо в относительных единицах. Обычно оценка параметров элементов проблемы выражается в шкале отношений в следующем виде:

- в качественном, когда альтернативы упорядочиваются по предпочтению (хуже, лучше);
- в количественном, когда можно сравнивать по абсолютному значению критериального показателя: на сколько (во сколько) одно решение лучше другого.

Выбор же наилучшего решения Y^* производится по одному или нескольким критериям выбора K .

Краткая формулировка процесса принятия решений. В целях разрешения проблемной ситуации S_0 в условиях имеющихся фонда времени T и ресурсов R необходимо:

- доопределить ПС S_0 множеством альтернативных ситуаций S ;
- сформулировать множество целей A преобразования ПС, ограничений B , альтернативных вариантов Y ;
- произвести оценку предпочтений альтернативных решений.

На основании полученных оценок необходимо найти оптимальное (эффективное) решение Y^* из множества Y , руководствуясь критерием (системой критериев) выбора K .

Если ЛПР представляет собой группу экспертов, то доопределяются функция группового предпочтения P и принцип согласования экспертных оценок решения. При этом групповая функция предпочтения формируется на базе выбранного принципа согласования.

Рассматривая процесс выбора наилучшего решения из множества сформированных альтернатив, необходимо заметить, что сама процедура выбора представляет собой итеративный процесс, который происходит в несколько этапов. При этом происходит поэтапное сужение сгенерированного в процессе формирования решений числа альтернатив $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ и в конце процедуры анализа и оценки альтернатив осуществляется выбор наилучшей альтернативы Y^* , принимаемой в качестве решения задачи.

При работе группового ЛПР (экспертной группы) в схему процесса принятия решения вводится дополнительная процедура Π — согласование полученных по задаче предпочтений членов экспертной группы после того, как они выразили свои индивидуальные предпочтения $Q_i(Y) |_{k'}$. С учетом введенных процессов схема решения задач принятия решений для группового ЛПР примет вид, показанный на рис. 14.1.

Таким образом, в формировании и выборе решений участвует набор элементов процедуры принятия решений, для которых необходим процесс согласования по каждому этапу.

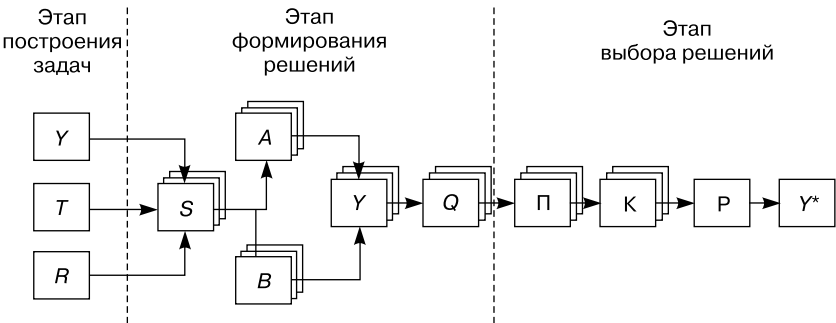


Рис. 14.1. Развернутая схема решения задачи принятия решения при групповом ЛПР

14.2. Классификация задач группового выбора

Как мы уже определили выше, задачи *группового выбора* представляют собой процедуру решения задач экспертной группой, обычно состоящей из экспертов-специалистов в сфере решаемой проблемы. Таким образом, экспертная группа

состоит из нескольких индивидуальных ЛПР, $G = (J_1, J_2, \dots, J_m)$, каждый из которых решает одну из группы индивидуальных задач.

Типы индивидуальных задач были рассмотрены ранее (п. 3.1), но дополнительным параметром группового решения является необходимость согласования полученного множества эффективных решений через процедуру и критерий согласования. В зависимости от наличия имеющихся параметров исходной ситуации, количества целей разрешения проблемы и полноты описания проблемы данная группа задач также может быть разбита на несколько различных классов:

1. *Задачи типа G* характеризуется одной вполне определенной ситуацией, наличием одного критерия выбора, но базируется на методологии группового выбора.

В практике управления часто встречаются такие проблемные ситуации, для которых частично или полностью неизвестна или труднодоступна информация для описания проблемной ситуации или которые невозможно формализовать с достаточной точностью. Такие проблемы обычно решаются с помощью привлекаемой группы экспертов, анализирующих и оценивающих имеющуюся проблемную ситуацию и генерирующих некоторое множество альтернатив ее решения.

Сама процедура проведения экспертного опроса и оценки мнений проводится в несколько этапов:

- отбор и формирование экспертной группы сводятся к отбору группы экспертов. При этом необходимо учитывать следующие факторы, которым должен отвечать эксперт и соответствие которым необходимо отслеживать: компетентность, независимость, его деловые качества, совпадение целей экспертизы для экспертов. Количество экспертов в группе должно составлять от 5 до 15 человек (оптимальный вариант);
- проведение опроса, для чего необходимо задать процедуру оценивания, указать тип шкалы, по которой необходимо оценивать объекты и определить основные оцениваемые параметры объектов. Процедура оценивания обычно проводится в виде интервью, анкетирования или дискуссии;
- обработка данных — данные сводятся в специальные таблицы как отдельно по каждому эксперту, так и по всей группе в целом. Обработка данных может быть количественной (статистической) и качественной. При этом оцениваются как сами эксперты, так и проблемная ситуация. На основе личных оценок каждого эксперта вычисляются групповые, которые дополнительно оцениваются на достоверность, причем считаются таковыми, если индивидуальные оценки экспертов хорошо согласованы между собой. В качестве критерия достоверности могут быть использованы коэффициенты согласия, вычисляемые на базе коэффициента множественной корреляции (коэффициент конкордации);
- формирование решений с использованием различных известных стратегий принятия решений и принципов согласования мнений экспертов.

Задачи типа G. Формальная постановка задачи такого типа определяется следующими параметрами.

Эти задачи характеризуются наличием вполне определенной проблемной ситуации S_0 , одним критерием (целью) выбора. Для решения проблемы определено некоторое множество допустимых альтернатив $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$. По каждой альтернативе выявлена функция полезности и сформулированы ее значения в виде f_{ij} , т. е. задан вектор значений функция полезности $\{f_{ij}\}$.

Обычно в связи с важностью решаемой задачи или существующей информационной неопределенностью в качестве ЛПР выбирают несколько экспертов, осуществляющих процедуру анализа и выбора рационального решения по заранее определенным правилам, при этом группа состоит из нескольких экспертов, $G = \{J_1, J_2, \dots, J_m\}$. Тем самым задается групповое ЛПР в виде группы экспертов G , которые решают данную задачу индивидуально, $G \subseteq \{J_1, J_2, \dots, J_m\}$. Выбор решения осуществляется группой экспертов $G = \{J_1, J_2, \dots, J_m\}$. Каждый эксперт на множестве альтернатив определяет значения функции предпочтения (полезности) $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ в разрезе каждой альтернативы.

Информация, описывающая задачи такого типа, характеризуется следующими данными: имеется множество альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$, для каждого эксперта информация представляется простыми матрицами, как в задачах класса J , с той лишь разницей, что таких матриц (задач) будет столько, сколько членов в экспертной группе $\{J_1, J_2, \dots, J_m\}$, где m — общее количество членов экспертной группы, решающих однокритериальную задачу типа J с n альтернативами. Вполне возможно, что для каждого эксперта можно задать показатель важности эксперта в группе, который характеризует его приоритет в данной проблемной области, $W = (W_1, W_2, \dots, W_m)$.

Для группы с m членами экспертной группы, решающими однокритериальную задачу с n альтернативами, используется группа таблиц следующего вида (табл. 14.1).

Таблица 14.1. Матрицы описания задач типа G

$J_1 = \text{ЛПР}_1$					$J_2 = \text{ЛПР}_2$					ЛПР_j	$J_m = \text{ЛПР}_m$				
Альтернативы	Y_1	Y_2	...	Y_n	Альтернативы	Y_1	Y_2	...	Y_n	...	Альтернативы	Y_1	Y_2	...	Y_n
Функции предпочтения	f_1	f_2	...	f_n	Функции предпочтения	f_1	f_2	...	f_n	...	Функции предпочтения	f_1	f_2	...	f_n
W_1					W_2					W_j	W_m				

На основании данной матрицы строится результирующая таблица по итогам индивидуального выбора каждого эксперта группы. При этом каждый эксперт может выбрать в качестве эффективного варианта решения различные альтернативы. Таким образом, в наилучшем варианте все эксперты могут указать один и тот же вариант, который будет принят в качестве эффективного реше-

ния. В наихудшем случае все эксперты назовут (выберут) различные локальные эффективные варианты, т. е. количество эффективных вариантов равно количеству экспертов m . Для выявления группового эффективного варианта решения необходимо выбрать принцип согласования экспертных мнений с учетом их приоритетов важности в группе экспертов и осуществить процедуру группового согласования мнений экспертов, в результате которой и формулируется эффективное решение Y^* (табл. 14.2).

Таблица 14.2. Таблица согласования мнений экспертов группы

№ п/п	Лицо, принимающее решение (член экспертной группы)	Эффективное (локальное) решение	Приоритет эксперта
1	ЛПР ₁	Y_U	W_1
2	ЛПР ₂	Y_J	W_2
....			
m	ЛПР _{m}	Y_Z	W_m
	Согласованное решение (групповое решение)	Y^*	

Каждый член экспертной группы на основании решения индивидуальной задачи формирует наилучшее решение Y_j^* . По результатам выбора рационального по ЛПР решения строится матрица эффективных решений (табл. 14.3), из которых следует выбрать наилучшее по группе экспертов решение.

Таблица 14.3. Матрица эффективных решений ЛПР

Локальный эксперт группового ЛПР	J_1	J_2	...	J_m
Приоритет (коэффициент важности) эксперта	W_1	W_2	...	W_m
Наилучшие по экспертам функции полезности	f_1^*	f_2^*	...	f_m^*
Наилучшее решение	Y_1	Y_2	...	Y_m

Для выбора наилучшего решения Y^* по f^* для множества наилучших значений функции полезности $\{f_1^*, f_2^*, \dots, f_m^*\}$, отобранных экспертами, необходимо сформулировать правила (механизм) согласования мнений экспертов, приводящие к выбору из вектора лучших решений, адекватных наилучшим функциям полезности. Наиболее рациональное решение:

$$(\{f_1^*, f_2^*, \dots, f_m^*\} \rightarrow \{Y_1^*, Y_2^*, \dots, Y_m^*\}) \rightarrow Y^*.$$

К задачам группового выбора кроме задач простого класса типа G относятся также задачи типа GS , GA , GSA

Задачи типа GS характеризуется не полностью определенной ситуацией, наличием одного критерия выбора, но базируются на методологии группового выбора. Данные задачи аналогичны задачам типа JS и используют такое же представление данных при индивидуальном решении задачи каждым экспер-

том группы. Количество таких задач (матриц представления задачи) должно соответствовать количеству экспертов в группе.

Для задач этого типа сама исходная проблемная ситуация S_0 не полностью определена и сама ситуация S_0 доопределяется гипотетическими ситуациями S_i , которые описывают возможные сценарии ее дальнейшего развития, т. е. $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, причем для каждой из возможных гипотез S_i задается вероятность p_i ее возникновения, т. е. $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$.

Информация, описывающая задачи такого типа, характеризуется следующими данными: для некоторой возможной совокупности состояний, определяемых как гипотетическое развитие исходной ситуации $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, имеется множество возможных альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$, привязанных к выделенным гипотезам, среди которых осуществляется выбор решения группой экспертов $G = (J_1, J_2, \dots, J_m)$. Каждый эксперт на множестве альтернатив определяет значения функции предпочтения (полезности) $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ в разрезе каждой альтернативы. Данная задача аналогична задаче типа JS и использует такое же представление данных по каждому эксперту.

Информация описания такой задачи для одного эксперта представляется матрицей (табл. 14.4).

Таблица 14.4. Матрица описания задач типа GS

Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n
Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}
	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}
	...	...	...	...	...
	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}
Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n

Общая схема решения задачи представлена в табл. 14.5. Количество таких матриц должно соответствовать количеству экспертов в группе.

Задачи типа GA характеризуется полностью определенной ситуацией, наличием нескольких критериев выбора и базируется на методологии группового выбора. Данная задача аналогична задаче типа JA и использует такое же представление данных при индивидуальном решении задачи отдельно каждым экспертом группы. Количество таких задач (матриц представления задачи) соответствует количеству экспертов в группе.

Для задач этого типа сама проблемная ситуация S_0 характеризуется множеством целей решения $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$, для каждой из которых определяются приоритеты важности цели $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$. Выбор осуществляется группой экспертов $G = (J_1, J_2, \dots, J_m)$. Для каждого эксперта определяется показатель важности эксперта в группе, который характеризует его приоритет в данной проблемной области, $W = (W_1, W_2, \dots, W_m)$. Для каждой альтернативы по каждой цели каждым экспертом формируется значение функции предпочтения $F = (f_{11}, f_{12}, \dots, f_{21}, \dots, f_{mk})$.

Таблица 14.5. Матрицы описания задач типа *GS*

№ п/п	Лицо, принимающее решение (член экспертной группы)	Решаемая задача типа <i>JS</i>					Эффективное (локальное) решение	Приоритет эксперта																																	
1	$J_1 = \text{ЛПР}_1$	<table><tr><td colspan="2">Гипотезы</td><td>S_1</td><td>S_2</td><td>...</td><td>S_n</td></tr><tr><td rowspan="4">Альтернативы решения</td><td>Y_1</td><td>f_{11}</td><td>f_{12}</td><td>...</td><td>f_{1n}</td></tr><tr><td>Y_2</td><td>f_{21}</td><td>f_{22}</td><td>...</td><td>f_{2n}</td></tr><tr><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>Y_m</td><td>f_{m1}</td><td>f_{m2}</td><td>...</td><td>f_{mn}</td></tr><tr><td colspan="2">Вероятности гипотез</td><td>p_1</td><td>p_2</td><td>...</td><td>p_n</td></tr></table>					Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}	...	...	...	...	...	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}	Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n	Y_U	W_1
Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n																																				
Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}																																				
	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}																																				
	...	...	...	...	...																																				
	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}																																				
Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n																																				
2	$J_2 = \text{ЛПР}_2$	<table><tr><td colspan="2">Гипотезы</td><td>S_1</td><td>S_2</td><td>...</td><td>S_n</td></tr><tr><td rowspan="4">Альтернативы решения</td><td>Y_1</td><td>f_{11}</td><td>f_{12}</td><td>...</td><td>f_{1n}</td></tr><tr><td>Y_2</td><td>f_{21}</td><td>f_{22}</td><td>...</td><td>f_{2n}</td></tr><tr><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>Y_m</td><td>f_{m1}</td><td>f_{m2}</td><td>...</td><td>f_{mn}</td></tr><tr><td colspan="2">Вероятности гипотез</td><td>p_1</td><td>p_2</td><td>...</td><td>p_n</td></tr></table>					Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}	...	...	...	...	...	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}	Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n	Y_j	W_2
Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n																																				
Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}																																				
	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}																																				
	...	...	...	...	...																																				
	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}																																				
Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n																																				
...	...	...					...	...																																	
m	$J_m = \text{ЛПР}_m$	<table><tr><td colspan="2">Гипотезы</td><td>S_1</td><td>S_2</td><td>...</td><td>S_n</td></tr><tr><td rowspan="4">Альтернативы решения</td><td>Y_1</td><td>f_{11}</td><td>f_{12}</td><td>...</td><td>f_{1n}</td></tr><tr><td>Y_2</td><td>f_{21}</td><td>f_{22}</td><td>...</td><td>f_{2n}</td></tr><tr><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>Y_m</td><td>f_{m1}</td><td>f_{m2}</td><td>...</td><td>f_{mn}</td></tr><tr><td colspan="2">Вероятности гипотез</td><td>p_1</td><td>p_2</td><td>...</td><td>p_n</td></tr></table>					Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}	...	...	...	...	...	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}	Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n	Y_z	W_m
Гипотезы		S_1	S_2	...	S_n																																				
Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}																																				
	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}																																				
	...	...	...	...	...																																				
	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}																																				
Вероятности гипотез		p_1	p_2	...	p_n																																				
Формирование принципа и критерия согласования мнений экспертов																																									
Согласованное решение (групповое решение)							Y^*																																		

Данная задача аналогична задаче *типа JA* и использует аналогичное представление данных для постановки задачи по каждому эксперту.

Информация описания такой задачи для одного эксперта представляется матрицей (табл. 14.6).

Общая схема решения задачи представлена в табл. 14.7. Количество матриц локальной задачи *типа JA* должно соответствовать количеству экспертов в группе.

Таблица 14.6. Матрица описания задач типа GA

Критерии (цели)		A_1	A_2	...	A_k
Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1k}
	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2k}
	...	...	...	...	...
	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mk}
Приоритеты целей		b_1	b_2	...	b_k

Задачи типа GSA. Задачи такого типа относятся к наиболее сложным задачам многокритериального выбора с дополнительно определяемой системой возможных гипотез развития исходной ситуации. Причем решение задачи ведется группой экспертов.

Задача характеризуется не полностью определенной ситуацией, наличием множества целей (критериев выбора) и базируется на методологии группового выбора. Данная задача подобна задаче типа *JSA* и использует аналогичное представление данных при индивидуальном решении задачи каждым экспертом группы. Количество таких задач (матриц представления задачи) соответствует количеству экспертов в группе.

Для задач этого типа сама исходная проблемная ситуация S_0 не полностью определена и доопределяется гипотетическими ситуациями S_p , которые описывают возможные сценарии ее дальнейшего развития, т. е. $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, причем для каждой из возможных гипотез S_i задается вероятность p_i ее возникновения, т. е. $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$. Кроме этого, задача характеризуется множеством целей решения $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$, для каждой из которых можно определить важность $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$. Выбор осуществляется группой экспертов $G = (J_1, J_2, \dots, J_m)$, для каждого эксперта можно определить показатель приоритета эксперта в группе, который характеризует его важность в данной предполагаемой сфере управленческой деятельности, $W = (W_1, W_2, \dots, W_m)$. При этом для каждой гипотезы $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ по каждой альтернативе и реализуемой цели (критерию) каждым экспертом формируется значение функции предпочтения $F = (f_{111}, f_{112}, \dots, f_{1nk}, f_{211}, \dots, f_{m11}, \dots, f_{mnk})$.

Информация, описывающая задачи такого типа, характеризуется следующими данными: для некоторой возможной совокупности состояний, определяемых как гипотетическое развитие исходной ситуации $S_0 = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, имеется множество возможных альтернатив $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$, эффективность которых определяется соответствием множеству целей $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$, для каждой из которых задается важность цели $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$, привязанных к выделенным гипотезам и критериям, выбор среди которых осуществляется группой экспертов $G = (J_1, J_2, \dots, J_m)$. Каждый эксперт на множестве альтернатив определяет значения функции предпочтения (полезности) $F = (f_{111}, f_{112}, \dots, f_{1nk}, f_{211}, \dots, f_{m11}, \dots, f_{mnk})$ в разрезе каждой гипотезы по каждой альтернативе.

Информация описания такой задачи для одного эксперта представляется матрицей (табл. 14.8).

Таблица 14.7. Матрицы описания задач типа GA

№ п/п	Лицо, принимающее решение (член экспертной группы)	Решаемая задача типа JA	Эффективное (локальное) решение	Приоритет эксперта																															
1	$J_1 = \text{ЛПР}_1$	<table><tr><td>Критерии (цели)</td><td>A_1</td><td>A_2</td><td>...</td><td>A_n</td></tr><tr><td rowspan="4">Альтернативы решения</td><td>Y_1</td><td>f_{11}</td><td>f_{12}</td><td>...</td><td>f_{1n}</td></tr><tr><td>Y_2</td><td>f_{21}</td><td>f_{22}</td><td>...</td><td>f_{2n}</td></tr><tr><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>Y_m</td><td>f_{m1}</td><td>f_{m2}</td><td>...</td><td>f_{mn}</td></tr><tr><td>Приоритеты целей</td><td>b_1</td><td>b_2</td><td>...</td><td>b_n</td></tr></table>	Критерии (цели)	A_1	A_2	...	A_n	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}	...	...	...	...	...	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}	Приоритеты целей	b_1	b_2	...	b_n	Y_U	W_1
Критерии (цели)	A_1	A_2	...	A_n																															
Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}																														
	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}																														
	...	...	...	...	...																														
	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}																														
Приоритеты целей	b_1	b_2	...	b_n																															
2	$J_2 = \text{ЛПР}_2$	<table><tr><td>Критерии (цели)</td><td>A_1</td><td>A_2</td><td>...</td><td>A_n</td></tr><tr><td rowspan="4">Альтернативы решения</td><td>Y_1</td><td>f_{11}</td><td>f_{12}</td><td>...</td><td>f_{1n}</td></tr><tr><td>Y_2</td><td>f_{21}</td><td>f_{22}</td><td>...</td><td>f_{2n}</td></tr><tr><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>Y_m</td><td>f_{m1}</td><td>f_{m2}</td><td>...</td><td>f_{mn}</td></tr><tr><td>Приоритеты целей</td><td>b_1</td><td>b_2</td><td>...</td><td>b_n</td></tr></table>	Критерии (цели)	A_1	A_2	...	A_n	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}	...	...	...	...	...	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}	Приоритеты целей	b_1	b_2	...	b_n	Y_J	W_2
Критерии (цели)	A_1	A_2	...	A_n																															
Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}																														
	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}																														
	...	...	...	...	...																														
	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}																														
Приоритеты целей	b_1	b_2	...	b_n																															
...	...	...	...	...																															
m	$J_m = \text{ЛПР}_m$	<table><tr><td>Критерии (цели)</td><td>A_1</td><td>A_2</td><td>...</td><td>A_n</td></tr><tr><td rowspan="4">Альтернативы решения</td><td>Y_1</td><td>f_{11}</td><td>f_{12}</td><td>...</td><td>f_{1n}</td></tr><tr><td>Y_2</td><td>f_{21}</td><td>f_{22}</td><td>...</td><td>f_{2n}</td></tr><tr><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>Y_m</td><td>f_{m1}</td><td>f_{m2}</td><td>...</td><td>f_{mn}</td></tr><tr><td>Приоритеты целей</td><td>b_1</td><td>b_2</td><td>...</td><td>b_n</td></tr></table>	Критерии (цели)	A_1	A_2	...	A_n	Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}	...	...	...	...	...	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}	Приоритеты целей	b_1	b_2	...	b_n	Y_Z	W_m
Критерии (цели)	A_1	A_2	...	A_n																															
Альтернативы решения	Y_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}																														
	Y_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}																														
	...	...	...	...	...																														
	Y_m	f_{m1}	f_{m2}	...	f_{mn}																														
Приоритеты целей	b_1	b_2	...	b_n																															
Формирование принципа и критерия согласования мнений экспертов																																			
Согласованное решение (групповое решение)			Y^*																																

Данная задача аналогична задаче *multijsa* и использует такое же представление данных по каждому эксперту. Общая схема решения задачи представлена в табл. 14.9. Количество таких матриц должно соответствовать количеству экспертов в группе.

На основании сформулированных каждым экспертом мнений о локально эффективных вариантах решения $Y_{\text{э}} = (Y_{\text{ЛПР}_1}, Y_{\text{ЛПР}_2}, \dots, Y_{\text{ЛПР}_m})$ с учетом обоснованной процедуры согласования производится выбор группового эффективного варианта решения:

Таблица 14.8. Матрица описания задач типа *GSA*

Гипотезы		S_1			S_2			...	S_n		
Критерии (цели)		A_1	...	A_k	A_1	...	A_k	...	A_1	...	A_k
Альтернативы решения	Y_1	f_{111}	...	f_{11k}	f_{121}	...	f_{12k}	...	f_{1n1}	...	f_{1nk}
	Y_2	f_{211}	...	f_{21k}	f_{221}	...	f_{22k}	...	f_{2n1}	...	f_{2nk}
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Y_m	f_{m11}	...	f_{m1k}	f_{m21}	...	f_{m2k}	...	f_{mn1}	...	f_{mnk}
Приоритеты целей		b_1	...	b_k	b_1	...	b_k	...	b_1	...	b_k
Вероятности гипотез		P_1			P_2			...	P_n		

$$(Y_{\text{ЛПР1}}, Y_{\text{ЛПР2}}, \dots, Y_{\text{ЛПРm}}) \rightarrow Y^*.$$

Для вычисления значений функции предпочтения по каждой альтернативе может быть использована любая шкала: ранги (порядковая); количественная (степени достижения) и др., но правила оценки и граничные значения должны быть одинаковы для всех членов экспертной группы. В дополнение к матрице может быть дана информация об особенностях решения, условиях, ограничениях, возможностях и т. д.

14.3. Методология проведения процедуры группового выбора

В соответствии со схемой решения задач при групповом выборе (см. рис. 14.1) в обобщенном виде процедура выбора состоит из нескольких этапов:

- построение и формализация задачи;
- анализ проблемы и формирование альтернатив решения;
- выбор рационального решения.

Для реализации данной процедуры при нескольких ЛПР возникает ряд сложностей, связанных с получением объективных, надежных, обоснованных и достоверных решений. В этой связи к данной процедуре предъявляют ряд требований, которые обеспечивают особенности группового принятия решения. Одной из важных проблем является обеспечение процесса индивидуального решения и выработка эффективного, по мнению конкретного эксперта, решения. Обычно такая процедура носит название *экспертного оценивания*.

Далее необходимо подробнее рассмотреть методы *экспертного оценивания*, которые можно применить при решении задач группового выбора.

Сущность метода принятия решений, основанного на экспертных оценках, заключается в проведении тщательного анализа структуры проблемной ситуации, адекватной оценки возможных альтернатив решения, их объективности и надежности.

Как и у всякого метода, у него имеются свои достоинства и недостатки. К явным достоинствам можно отнести упрощенную процедуру организации реше-

Таблица 14.9. Матрицы описания задач типа GSA

№ п/п	Лицо, принимающее решение (член экспертной группы)	Решаемая задача типа JSA											Эффек- тивное (локаль- ное) решение	Прио- ритет эксперта	
1	$J_1 = \text{ЛПР}_1$	Гипотезы		S_1			S_2			...	S_n			Y_U	W_1
		Критерии (цели)		A_1	...	A_k	A_1	...	A_k	...	A_1	...	A_k		
		Альтернативы решения	Y_1	f_{111}	...	f_{11k}	f_{121}	...	f_{12k}	...	f_{1n1}	...	f_{1nk}		
			Y_2	f_{211}	...	f_{21k}	f_{221}	...	f_{22k}	...	f_{2n1}	...	f_{2nk}		
			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
			Y_m	f_{m11}	...	f_{m1k}	f_{m21}	...	f_{m2k}	...	f_{mn1}	...	f_{mnk}		
		Приоритеты целей		b_1	...	b_k	b_1	...	b_k	...	b_1	...	b_k		
		Вероятности гипотез		p_1			p_2			...	p_n				
2	$J_2 = \text{ЛПР}_2$	Гипотезы		S_1			S_2			...	S_n			Y_J	W_2
		Критерии (цели)		A_1	...	A_k	A_1	...	A_k	...	A_1	...	A_k		
		Альтернативы решения	Y_1	f_{111}	...	f_{11k}	f_{121}	...	f_{12k}	...	f_{1n1}	...	f_{1nk}		
			Y_2	f_{211}	...	f_{21k}	f_{221}	...	f_{22k}	...	f_{2n1}	...	f_{2nk}		
			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
			Y_m	f_{m11}	...	f_{m1k}	f_{m21}	...	f_{m2k}	...	f_{mn1}	...	f_{mnk}		
		Приоритеты целей		b_1	...	b_k	b_1	...	b_k	...	b_1	...	b_k		
		Вероятности гипотез		p_1			p_2			...	p_n				
...	...	...											...	...	
m	$J_m = \text{ЛПР}_m$	Гипотезы		S_1			S_2			...	S_n			Y_Z	W_m
		Критерии (цели)		A_1	...	A_k	A_1	...	A_k	...	A_1	...	A_k		
		Альтернативы решения	Y_1	f_{111}	...	f_{11k}	f_{121}	...	f_{12k}	...	f_{1n1}	...	f_{1nk}		
			Y_2	f_{211}	...	f_{21k}	f_{221}	...	f_{22k}	...	f_{2n1}	...	f_{2nk}		
			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
			Y_m	f_{m11}	...	f_{m1k}	f_{m21}	...	f_{m2k}	...	f_{mn1}	...	f_{mnk}		
		Приоритеты целей		b_1	...	b_k	b_1	...	b_k	...	b_1	...	b_k		
		Вероятности гипотез		p_1			p_2			...	p_n				
Формирование принципа и критерия согласования мнений экспертов															
Согласованное решение (групповое решение)													Y^*		

ния, экономии ресурсов на поиск необходимой информации, распределение ответственности по членам экспертной группы и пр.

Следует учитывать, что единодушие большинства экспертов, которое можно наблюдать в процессе решения, не всегда является критерием адекватности и достоверности формируемых ими прогнозов развития проблемы, отсюда следует необходимость в более тщательном отборе экспертов.

При использовании метода экспертных оценок обычно исходят из следующего допущения: предполагают, что при решении проблемы в условиях существующей неопределенности мнение отобранной группы экспертов надежнее, чем мнение отдельного эксперта. Однако достаточно часто оценки экспертов не обладают необходимой устойчивостью, т. е. эксперт может одни и те же события при нескольких повторных экспертизах оценивать по-разному. Кроме этого, к другим недостаткам можно отнести то, что при использовании данного метода помимо погрешности, вызванной *недостатком информации* о событиях и *недостаточной компетентностью экспертов*, возможна и погрешность, обусловленная возможной *заинтересованностью экспертов* в результате оценки.

В процессе экспертизы некоторого события возможны экспертные оценки индивидуальные и групповые.

Сферой проявления *индивидуальных экспертных оценок* могут быть следующие направления в принятии решения:

- обобщение результатов, представленных другими экспертами (анализ записи);
- заключение о работе других экспертов или организации (отзыв, рецензии, экспертизы);
- прогнозирование развития проблемных ситуаций и явлений, а также оценка их значимости в текущем периоде.

К числу *групповых экспертных оценок* можно отнести:

- открытое обсуждение вопросов с последующим голосованием;
- закрытое обсуждение (т. е. обсуждение без прямого контакта его участников при сохранении анонимности их мнений) с последующим заполнением анкет экспертного опроса (закрытое голосование);
- свободные высказывания без обсуждения и голосования;
- совместную выработку синтетических решений, являющихся композицией разных частей рациональных решений, сформулированных разными экспертами.

Кратко рассмотрим *методы группового оценивания*:

1. Открытое обсуждение вопросов является наиболее простой и широко используемой формой выработки групповой оценки. Она не предъявляет усиленных требований к членам экспертной группы, так как в основном решает проблемы общего характера с использованием простых способов голосования.

Так, например, к недостаткам *открытого обсуждения* вопросов (до достижения определенного согласия между экспертами или до выработки общей позиции) можно отнести следующие:

- взаимное влияние суждений экспертов;
- нежелание их отказываться от мнений, ранее высказанных публично.

2. При подготовке важных ответственных прогнозных решений обычно используют *закрытое обсуждение* и свободное высказывание. К недостаткам, свойственным закрытому обсуждению, можно отнести:

- отсутствие деловой дискуссии;
- усложнение обратной связи из-за неточности формулировок, недоразумений, ошибок;
- трудности или ошибки в понимании причин высказанного мнения и неясности по поводу его источников.

Указанные недостатки можно уменьшить путем сочетания *устной* и *письменной форм* опросов.

При проведении закрытого обсуждения выделяют два способа выявления мнения эксперта (его оценки):

- опрос, проводимый в один тур (путем одноразового заполнения анкет);
- опрос, проводимый в несколько туров (путем многократного заполнения анкет экспертного опроса для последовательного уточнения оценок).

При многоэтапной оценке (проведение несколько туров) обычно применяют наиболее широко распространенный метод — *метод Дельфи*, который характеризуется как метод группового анкетирования и представляет собой совокупность взаимосвязанных процедур проведения опросов и обработки их результатов, в ходе которых и происходит подготовка прогнозного решения.

3. Для выработки *синтетических решений*, являющихся композицией разных частей рациональных решений, сформулированных разными экспертами, обычно используется методология «мозгового штурма». Данный метод применяется в случаях, когда необходимо выработать максимальное количество идей по существующей проблеме и несколько альтернативных вариантов их решения. Если автономные альтернативы не удовлетворяют критериям эффективности выбора, то на их базе синтезируют из существующих один вариант, который ближе других к некоторому идеальному состоянию развития проблемы.

Для этого экспертов делят, как правило, на две группы: одна генерирует любые идеи, другая их анализирует и проводит синтез.

Для получения синтезированных альтернатив может быть использована и такая широко известная методология группового принятия решения, как метод ПАТТЕРН, при котором эксперты выносят свои совместные суждения на основе соответствия дерева целей и методов достижения этих целей.

В организационном плане сама процедура проведения экспертного опроса и оценивания достаточно сложна и требует времени и ресурсов. Соответственно и качество получаемых экспертных оценок во многом определяется подготовкой экспертизы, применяемыми способами оценки и методами обработки полученной информации.

Практика решения задач такого типа свидетельствует, что единых правил и моделей проведения экспертиз нет. Однако можно выделить наиболее общие процедуры экспертного оценивания и стандартизировать *основные этапы подготовки и проведения экспертиз*:

1. Определение целей экспертного опроса.
2. Формирование организационной группы для проведения экспертизы и подбор экспертов для решения проблемы.
3. Формирование вопросов, составление анкет.
4. Разработка правил определения суммарных оценок на основе оценок отдельных экспертов.
5. Работа с экспертами.
6. Анализ и обработка экспертных оценок.
7. Оформление результатов решения.

Рассмотрим представленные *этапы подготовки и проведения экспертиз* более подробно:

1. *Определение целей экспертного опроса.* На данном этапе характеризуется состояние проблемы, выделяются особенности ее решения, согласовываются достижения цели (с возможностями экспертов) с полнотой, надежностью и достоверностью исходных данных.

Заканчивается подготовкой руководящего документа, в котором сформулирована цель экспертизы, основные положения по ее достижению, сроки проведения, задачи, права и обязанности группы организаторов экспертизы и самих экспертов, финансовая и материальная база работ по экспертной деятельности. Для подготовки этого документа, а также для руководства всей работой назначается руководитель экспертизы. На него возлагаются формирование группы управления и ответственность за организацию ее работы.

2. *Формирование организационной группы для проведения экспертизы и подбор экспертов для решения проблемы.* На этом этапе определяется организационно-административная группа, которая будет заниматься вопросами проведения экспертизы на всех этапах экспертного оценивания. Кроме того, для реализации процедуры экспертного оценивания необходимо сформировать группу экспертов. Общим требованием при формировании группы экспертов является эффективное решение проблемы экспертизы. Эффективность решения проблемы определяется характеристиками достоверности экспертизы и затрат на нее.

Достоверность экспертного оценивания может быть определена только на основе практического решения проблемы и анализа ее результатов. Использование экспертов как раз и обусловлено тем, что отсутствуют какие-либо другие способы получения информации. Поэтому оценка достоверности экспертизы может осуществляться, как правило, только по апостериорным данным. Если экспертиза проводится систематически с примерно одним и тем же составом экспертов, появляется возможность накопления статистических данных по до-

стоверности работы группы экспертов и получения устойчивой количественной оценки достоверности. Эту оценку можно использовать в качестве априорных данных о достоверности группы экспертов для последующих экспертиз.

Достоверность группового экспертного оценивания зависит также от общего числа экспертов в группе, долевого состава различных специалистов в группе, от характеристик экспертов.

Определение характера зависимости достоверности от перечисленных факторов является еще одной проблемой процедуры подбора экспертов.

Сложной проблемой процедуры подбора является формирование системы характеристик эксперта, существенно влияющих на ход и результаты экспертизы. Эти характеристики должны описывать специфические свойства специалиста и возможные отношения между людьми, влияющие на экспертизу. Важным требованием к характеристикам эксперта является измеримость этих характеристик.

Работа по подбору экспертной группы проходит примерно в следующей последовательности: уяснение решаемой проблемы, определение круга областей деятельности, связанных с проблемой, определение долевого состава экспертов по каждой области деятельности, определение количества экспертов в группе, составление предварительного списка экспертов с учетом их местонахождения, анализ качеств экспертов и уточнение списка экспертов в группе, получение согласия экспертов на участие в работе, составление окончательного списка экспертной группы.

Таким образом, на данном этапе обосновывается и формируется непосредственно состав экспертной группы, количество экспертов и устанавливаются требования к уровню их профессиональной подготовки. Определяются также условия и требования к тем показателям, которые характеризуют компетентность экспертов: квалификация, стаж работы в данной сфере, опыт, трудовой стаж и т. д.

Так, например, при определении численности группы экспертов предполагают учет следующих требований:

- численность не должна быть малой, чтобы не потерять смыслового содержания процедуры формирования экспертных оценок;
- значительная по количеству группа экспертов имеет следующие недостатки:
 - меньшую эластичность влияния оценки каждого эксперта на групповую оценку;
 - трудоемкость организации экспертизы, связанную с обработкой результатов опроса и непосредственной координацией работы групп.

В практике проведения экспертиз существуют граничные оценки численности группы экспертов от нижней $N_{\min}$ до верхней $N_{\max}$. Нижняя граница численности группы $N_{\min}$ зависит от сложности и числа оцениваемых событий m . Для соблюдения требования представительности группы должно выполняться

правило $N_{\min} \geq m$. Верхней же границей является потенциально возможное число экспертов $N_{\max} \leq N_n$.

Следовательно:

$$m \leq N_{\min} \leq N \leq N_{\max} \leq N_n.$$

Максимальное число экспертов в группе проверяется на ограничение по финансовым ресурсам. Определив зависимость между достоверностью, количеством экспертов и расходами на оплату, группа управления представляет руководству эту информацию и формулирует возможные альтернативы решений. Такими альтернативами могут быть либо снижение достоверности результатов экспертного оценивания до уровня, обеспечивающего выполнение ограничения по расходам на оплату экспертов, либо сохранение исходного требования на достоверность экспертизы и увеличение расходов на оплату экспертов.

После определения численности экспертной группы определяют ее структуру и состав, т. е. подбирают экспертов соответствующей специализации, профиля и квалификации.

Следующим этапом работы по подбору экспертов является составление предварительного списка экспертов. При составлении этого списка проводится анализ качеств экспертов. Кроме учета качеств экспертов определяются их местонахождение и возможности участия выбранных специалистов в экспертизе. При оценке качеств учитывается мнение людей, хорошо знающих кандидатов в эксперты.

После составления списка экспертов им направляются письма с приглашением участвовать в экспертизе. В письмах объясняются цель проведения экспертизы, ее сроки, порядок проведения, объем работы и условия вознаграждения. К письмам прилагаются анкеты данных эксперта и самооценки компетентности. Получив ответы экспертов, группа управления составляет окончательный список группы экспертов.

При этом желательно выявить возможные цели экспертов, которые могут препятствовать получению объективных результатов.

Таким образом, определяются следующие параметры экспертной группы:

- возможное число экспертов N_n и минимально допустимая численность группы $N_{\min}$;
- внутри данной численности выделяют подгруппу специалистов по проблеме, N_k ($N_k \leq N_n$) требуемой квалификации, умеющих провести анализ и оценку проблемной ситуации этого класса событий;
- из выделенной подгруппы N_k исключают экспертов, возможные цели которых могут противоречить получению объективных экспертных оценок.

Одним из методов определения численности экспертов является допустимая величина степени различия мнений отдельных экспертов в группе. Существует некоторая эмпирическая зависимость, определяющая связь между количеством экспертов в группе (X) и величиной средней групповой ошибки (Y).

Данная зависимость может быть описана связью, график которой приведен на рис. 14.2.

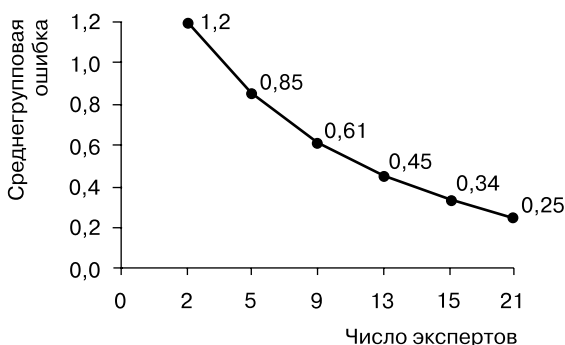


Рис. 14.2. Зависимость величины ошибки от числа экспертов

Использование кривой такого типа позволяет выбирать минимально допустимое число экспертов, учитывая тот уровень достоверности, который требуется для принятия решения. Однако данная модель не является универсальной и обусловлена спецификой и устойчивыми параметрами экспертной группы.

Параллельно с процессом формирования группы экспертов организационно-административная группа проводит разработку процедуры организации и методики проведения опроса экспертов. При этом решаются следующие вопросы: место и время проведения опроса, количество и задачи туров опроса, форма проведения опроса, порядок фиксации и сбора результатов опроса, состав необходимых документов. После составления и утверждения списка экспертам посылается сообщение о включении их в состав экспертной группы. Если экспертное оценивание производится методом анкетирования, то одновременно с уведомлением о включении в экспертную группу всем экспертам высылаются анкета с необходимыми инструкциями для их заполнения. Сообщением экспертам о включении их в экспертизу заканчивается работа по подбору экспертов.

3. Формирование вопросов к экспертам и составление анкет для экспертного оценивания.

Обычно сама процедура экспертного опроса проводится в виде анкетирования. Поэтому весьма важны сама анкета, ее структура и организация вопросов. При составлении опросных анкет существенную роль играют порядок вопросов и их формулировка. В первую очередь формируются наиболее сложные и общие вопросы, затем переходят к более простым и частным. Список вопросов и структура анкеты для всех экспертов должны быть одинаковыми. Однако экспертам различных проблемных групп и разной спецификации могут быть заданы разные вопросы. Тогда мнения экспертов обобщаются по группам, и только после этого формируется взвешенная обобщенная оценка.

4. *Разработка принципов группового согласования, т. е. правил определения суммарных оценок на основе оценок отдельных экспертов.*

На данном этапе необходимо определить задачи и сроки обработки, процедуры и алгоритмы обработки полученных оценок, силы и средства для непосредственного проведения процедуры обработки данных экспертизы, выработку метода групповой оценки (группового согласования). В процессе непосредственного проведения опроса экспертов и обработки его результатов группа управления осуществляет выполнение комплекса работ в соответствии с разработанным планом, корректируя его по мере необходимости по содержанию, срокам и обеспечению ресурсами. Последним шагом на этом этапе является оформление результатов работы. Здесь проводятся анализ результатов экспертного оценивания, составление отчета, обсуждение и одобрение результатов, представление итогов работы на утверждение, ознакомление с результатами экспертизы заинтересованных лиц.

При этом если имеющиеся оценки f_{ij} проблемной ситуации S_i определены J_j -м экспертом из группы G (количество членов группы m), то в общем случае групповая оценка F_i ситуации S_i зависит от оценок экспертов F_{is} проблемной ситуации и степени важности w_j каждого эксперта.

В этом случае степень компетентности эксперта учитывает его обобщенные индивидуальные параметры: опыт, уровень знаний о проблеме, квалификацию, образование и пр. и является основной характеристикой эксперта, используемой при определении групповых оценок. Поэтому групповая оценка определяется функцией

$$f_s = \phi(f_{ij}, w_j). \quad (14.2)$$

Следовательно, задание принципа группового согласования предполагает способ формулирования групповых оценок и состоит в определении функции (14.2). Для использования функции в целях оценки и измерения к ней предъявляют некоторые требования. Необходимо, чтобы функция была строго монотонно возрастающей по f и w . Этому условию удовлетворяет множество функций, но обычно полагают, что функцию f_i можно представить в виде следующего соотношения:

$$f_i = \frac{\sum_{s=1}^p w_s f_{is}}{\sum_{s=1}^p w_s}.$$

При равной компетентности экспертов формула принимает вид средней оценки:

$$f_i = \frac{\sum_{s=1}^p f_{js}}{m}.$$

Значение весовых коэффициентов можно интерпретировать как вероятность выдачи экспертом достоверной оценки, при этом считают, что $0 \leq w \leq 1$.

Оценка важности эксперта — весьма важный шаг в процессе экспертного оценивания, поэтому существует несколько условий для проведения оценки степени важности эксперта:

- учет характера решаемой задачи;
- уровень возможных ресурсов для проведения конкретного экспертного опроса;
- степень неопределенности проблемной ситуации;
- возможность привлечения наиболее важных экспертов в данной группе проблем.

Различают несколько способов оценки компетентности экспертов, которые требуют учета следующих факторов:

- уровень квалификации эксперта в «узкой» области специализации;
- уровень его теоретической подготовки;
- практический опыт и широта кругозора;
- опыт участия в решении аналогичных проблем.

Первый способ оценки компетентности экспертов базируется на балльной оценке вышеприведенных факторов, которые можно оценивать по 10-балльной шкале, конкретизируемой для проводимого опроса. Полученные характеристики приводят к одному показателю, характеризующему объективную оценку компетентности эксперта w_j , например, посредством любого способа определения интегрального критерия (см. раздел 1). В частности, можно использовать средние значения, средневзвешенные или иные способы.

Второй способ ориентируется на показатель относительной самооценки эксперта. Это субъективный показатель компетентности эксперта, которому предлагают проставить балл по 10-балльной шкале исходя из уровня своей компетентности по заданному вопросу.

Примером конкретной оценки уровня важности эксперта может быть следующая шкала:

балл 10 выставляется, если эксперт специализируется по заданному вопросу;

балл 8 — если эксперт участвует в практической реализации вопроса, но он не входит в сферу его узкой специализации;

балл 5 — если вопрос входит в сферу, не связанную с его узкой специализацией, направлением (например, смежная область практической деятельности, смежная прикладная дисциплина);

балл 3 — если вопрос не входит в сферу, тесно связанную с его узкой специализацией, направлением (например, знаком с проблемой по литературным источникам, по опыту работы других предприятий).

Третий способ предполагает оценку компетентности эксперта сторонними лицами, в частности:

- руководителями вышестоящего звена управления;
- самими экспертами.

В последнем случае каждый эксперт, входящий в группу, задает весовые коэффициенты всем экспертам, кроме себя. Далее определяется среднеквадратическая оценка компетентности (важности) каждого эксперта. Тем самым получены данные, которые могут обосновать связь между средней групповой самооценкой и точностью экспертизы.

Такая связь может быть определена отношением суммы индивидуальных оценок экспертов к числу экспертов в группе. На основании данного отношения можно построить модель связи, показывающую зависимость между средней групповой самооценкой (X) и средней групповой ошибкой (Y) (рис. 14.3). Общая тенденция такова — средняя групповая ошибка монотонно убывает с возрастанием средней самооценки.

Четвертый способ оценки степени важности эксперта базируется на методологии парного сравнения. В этом случае формируется матрица парных сравнений, где процедура сравнения может быть сформирована в виде бинарных оценок предпочтений экспертов либо используются лингвистические оценки, задающие более точные предпочтения среди множества экспертов. Метод парного сравнения приведен в разделе 1 (п. 4.4).

5. Работа с экспертами.

Как уже определяли на первом и втором этапах, перед экспертным опросом необходимо разработать правила его организации и проведения (обязательные для всех экспертов), которые должны обеспечивать формирование экспертами объективного результата решения проблемы. Здесь также формируются принципы группового согласования, т. е. правила определения суммарных оценок на основе оценок отдельных экспертов. В этом случае групповая оценка зависит как от оценки каждого эксперта, так и от степени его важности и компетенции. Эти шаги предвеляют сам экспертный опрос и готовят всю необходимую информацию для его проведения.

Обычно к правилам и условиям экспертной оценки относят:

- независимость формирования экспертами собственного мнения об оцениваемых событиях;
- сохранение анонимности ответов;

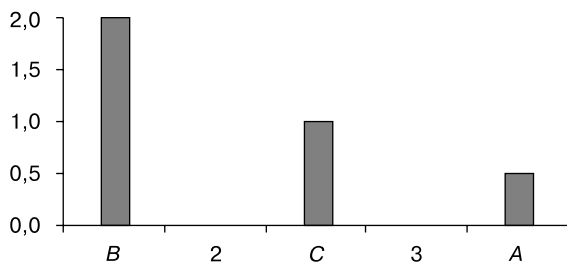


Рис. 14.3. Модель зависимости среднегрупповой ошибки от среднегрупповой самооценки

- возможность проведения коллективных обсуждений оцениваемых событий;
- предоставление экспертам необходимой информации.

В зависимости от характера исследуемой проблемной ситуации и степени его формализации порядок работы с экспертами может быть различным. В общем случае в данной процедуре различают несколько возможных вариантов ее проведения:

- 1) эксперты привлекаются в индивидуальном порядке для уточнения модели объекта, его параметров и показателей, формулировки вопросов;
- 2) экспертам направляются анкеты с пояснительным письмом, в котором описываются цель работы, структура и порядок заполнения анкет (с примерами). Если можно собрать экспертов (например, работающих на одном предприятии), то все вопросы могут быть изложены устно. В дальнейшем эксперты заполняют анкеты с соблюдением всех правил анкетирования;
- 3) работа проводится после получения результатов опроса и изучения исследуемого объекта другими методами. На этом этапе путем консультации обычно получают от экспертов всю недостающую информацию.

Рассмотрим подробнее организацию непосредственной работы с экспертами, т. е. процесс проведения экспертного опроса.

Процедура экспертного опроса является главным этапом совместной работы организационной группы по проведению экспертизы и самих экспертов. Основными структурными элементами процедуры опроса являются:

- постановка задачи и предъявление вопросов экспертам;
- информационное обеспечение работы экспертов;
- выработка экспертами суждений, оценок, предложений;
- сбор результатов работы экспертов.

Можно выделить три типа задач, которые решаются в процессе опроса:

- оценка (качественная или количественная) исследуемых ситуаций;
- построение модели (сценария) новой ситуации;
- прогнозирование и оценка нового состояния проблемной ситуации.

При групповой экспертизе используются следующие основные виды опроса: дискуссия, анкетирование, интервьюирование, метод коллективной генерации идей и др.

Анкетирование может проводиться с обратной связью или без нее. При анкетировании с обратной связью опрос экспертов проводится в несколько этапов с доведением до сведения экспертов некоторых результатов опроса на предыдущем этапе, включая оценки отдельных экспертов и их аргументацию.

Главным в организации опроса является обеспечение максимума информации и максимума творческой активности, самостоятельности эксперта. Необходимо стремиться довести до каждого эксперта по возможности всю информацию, относящуюся к анализируемому явлению, которой располагают

как эксперты, так и организаторы опроса, не лишая в то же время эксперта творческой самостоятельности и активности.

Однако возможности эксперта по переработке информации ограничены. В результате эксперт может принять решение, не используя всей информации, имеющейся в его распоряжении. Кроме того, новая информация воспринимается человеком с определенным внутренним сопротивлением и не сразу влияет на уже сложившиеся субъективные оценки. Отношение к новой информации будет более благоприятное, а восприятие и использование ее полнее, если она представляется в доходчивой, яркой и компактной форме.

Из этих психологических особенностей следует необходимость предоставления экспертам возможностей для фиксации поступающей информации путем ведения записей, использования технических средств, а также необходимость предварительной обработки информации и представления ее экспертам в наиболее актуализированной форме.

Необходимо подчеркнуть противоречивость значения обмена экспертами информацией, так как получение такой информации таит опасность потери творческой независимости в построении модели объекта экспертом. Разрешение этого противоречия в полной мере невозможно, и при каждой экспертизе ее организаторы должны находить разумный компромисс, прежде всего путем выбора вида опроса, формы и степени общения экспертов.

Каждый из видов опроса имеет свои достоинства и недостатки в построении обмена информацией между экспертами и в организации их независимого творчества. Выбор того или иного вида опроса определяется многими факторами, из которых основными являются:

- цель и задачи экспертизы;
- существо и сложность анализируемой проблемы;
- полнота и достоверность исходной информации;
- требуемый объем и достоверность информации, получаемой в результате опроса;
- время, отведенное на опрос и экспертизу в целом;
- допустимая стоимость опроса и экспертизы в целом;
- количество экспертов и членов группы управления, их характеристики.

Анкетирование является наиболее эффективным и самым распространенным видом опроса, ибо позволяет наилучшим образом сочетать информационное обеспечение экспертов с их самостоятельным творчеством.

6. Анализ и обработка экспертных оценок.

После проведения опроса группы экспертов осуществляется обработка результатов. Исходной информацией для обработки являются числовые данные, выражающие предпочтения экспертов, и содержательное обоснование этих предпочтений. Целью обработки является получение обобщенных данных и новой информации, содержащейся в скрытой форме в экспертных оценках. На основе результатов обработки формируется решение проблемы.

Наличие как числовых данных, так и содержательных высказываний экспертов приводит к необходимости применения качественных и количественных методов обработки результатов группового экспертного оценивания. Удельный вес этих методов существенно зависит от класса проблем, решаемых экспертным оцениванием.

Все множество проблем можно разделить на два класса. К первому классу относятся проблемы, для решения которых имеется достаточный уровень знаний и опыта, т. е. имеется необходимый информационный потенциал. При решении проблем, относящихся к этому классу, эксперты рассматриваются как хорошие в среднем измерители. Под термином «хорошие в среднем» понимается возможность получения результатов измерения, близких к истинным. Для множества экспертов их суждения группируются вблизи истинного значения. Отсюда следует, что для обработки результатов группового экспертного оценивания проблем первого класса можно успешно применять методы математической статистики, основанные на осреднении данных.

Ко второму классу относятся проблемы, для решения которых еще не накоплен достаточный информационный потенциал. В связи с этим суждения экспертов могут очень сильно различаться. Более того, суждение одного эксперта, сильно отличающееся от остальных мнений, может оказаться истинным. Очевидно, что применение методов осреднения результатов групповой экспертной оценки при решении проблем второго класса может привести к большим ошибкам. Поэтому обработка результатов опроса экспертов в этом случае должна базироваться не на методах, использующих принципы осреднения, а на методах качественного анализа.

В зависимости от целей экспертного оценивания и выбранного метода измерения при обработке результатов опроса возникают следующие основные задачи:

- 1) построение обобщенной оценки объектов на основе индивидуальных оценок экспертов;
- 2) построение обобщенной оценки на основе парного сравнения объектов каждым экспертом;
- 3) определение относительных весов объектов;
- 4) определение согласованности мнений экспертов;
- 5) определение зависимостей между ранжировками;
- 6) оценка надежности результатов обработки.

Задача построения обобщенной оценки объектов по индивидуальным оценкам экспертов возникает при групповом экспертном оценивании. Решение этой задачи зависит от использованного экспертами метода измерения.

При решении многих задач недостаточно осуществить упорядочение объектов по одному показателю или некоторой совокупности показателей. Желательно иметь численные значения для каждого объекта, определяющие относительную его важность по сравнению с другими объектами. Иными

словами, для многих задач необходимо иметь оценки объектов, которые не только осуществляют их упорядочение, но и позволяют определять степень предпочтительности одного объекта перед другим. Для решения этой задачи можно непосредственно применить метод непосредственной оценки. Однако эту же задачу при определенных условиях можно решить путем обработки оценок экспертов.

Определение согласованности мнений экспертов производится путем вычисления числовой меры, характеризующей степень близости индивидуальных мнений. Анализ значения меры согласованности способствует выработке правильного суждения об общем уровне знаний по решаемой проблеме и выявлению группировок мнений экспертов. Качественный анализ причин группировки мнений позволяет установить существование различных взглядов, концепций, выявить научные школы, определить характер профессиональной деятельности и т. п. Все эти факторы дают возможность более глубоко осмыслить результаты опроса экспертов.

Обработкой результатов экспертного оценивания можно определять зависимости между ранжировками различных экспертов и тем самым устанавливать единство и различие в мнениях экспертов. Важную роль играет также установление зависимости между ранжировками, построенными по различным показателям сравнения объектов. Выявление таких зависимостей позволяет вскрыть связанные показатели сравнения и, может быть, осуществить их группировку по степени связи. Важность задачи определения зависимостей для практики очевидна. Если показателями сравнения являются различные цели, а объектами — средства достижения целей, то установление связи между ранжировками, упорядочивающими средства с точки зрения достижения целей, позволяет обоснованно ответить на вопрос, в какой степени достижение одной цели при данных средствах способствует достижению других целей.

Оценки, получаемые на основе обработки, представляют собой случайные объекты, поэтому одной из важных задач процедуры обработки является определение их надежности. Решению этой задачи должно уделяться соответствующее внимание.

Обработка результатов экспертизы представляет собой трудоемкий процесс. Выполнение операций вычисления оценок и показателей их надежности вручную связано с большими трудовыми затратами даже в случае решения простых задач упорядочения.

Таким образом, обобщая процесс обработки, можно сделать вывод, что экспертные данные анализируются и обрабатываются по двум направлениям:

- после обработки данных с помощью правил определения итоговых оценок проводится их анализ и делаются выводы;
- определяются согласованности действий экспертов и достоверность их оценок. В качестве меры согласованности экспертов можно принять статистический показатель согласования — коэффициент конкордации E ($0 \leq E \leq 1$).

Если значение коэффициента конкордации $E = 0$, то для получения достоверных оценок следует уточнить исходные данные о событиях и/или изменить состав группы экспертов. При $E = 1$ не всегда можно считать оценки объективными (может быть, члены группы условились придерживаться одинаковых взглядов).

Обычно для нормирования коэффициента принимается нормативное значение $E_3 = 0,5$, т. е. при $E > 0,5$ считают, что действия экспертов в большей мере согласованы, чем не согласованы. Поэтому для обеспечения достоверности групповой оценки необходимо, чтобы значение коэффициента конкордации группы экспертов E было бы больше порогового (нормативного) $W_3 = 0,5$.

7. Оформление результатов решения. Результаты решения обычно оформляются в виде экспертного заключения, в котором фиксируются ход исследования проблемной ситуации, обоснование методики, формирование альтернатив, процесс проведения экспертизы и ее итоги. Само заключение состоит из введения, которое содержит данные: кто, где, когда, в связи с чем организует и проводит экспертизу. Далее фиксируется объект экспертизы, указываются методы, примененные для его исследования, и полученные в результате исследования данные. В заключительной части содержатся выводы, рекомендации, практические меры, предлагаемые экспертами. Выводы могут иметь категорическую формулировку («да», «нет») и вероятностную (наиболее возможную) альтернативу.

Глава 15. МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГРУППОВОГО ВЫБОРА

15.1. Методы принятия решений группой экспертов

Ранее при анализе групповых методов оценивания мы определили возможные способы экспертного принятия решения, а именно:

- метод Дельфи;
 - метод мозгового штурма;
 - метод ПАТТЕРН;
 - балльный метод
- и др.

Вышеприведенные методы имеют общие процедуры проведения экспертного оценивания, которые сводятся к следующим:

- определение целей экспертного опроса;
- формирование организационной группы для проведения экспертизы и подбор экспертов для решения проблемы;
- формирование вопросов, составление анкет;
- разработка правил определения суммарных оценок на основе оценок отдельных экспертов;
- работа с экспертами;
- анализ и обработка экспертных оценок.

Рассмотрим некоторые из используемых методов более подробно.

Метод Дельфи. Это один из наиболее распространенных методов экспертной оценки. Метод разработан американской консалтинговой фирмой «РЭНД-Корпорейшен». Широкую известность получил спустя 7–8 лет после его применения для нужд ВВС США. Сущность метода состоит в том, что прогнозные оценки определяются на основе заключений экспертов, которым поручается аргументированное обоснование своей точки зрения о состоянии и развитии того или иного рынка или другой проблемы.

Применение методов, основанных на экспертных оценках, целесообразно при решении следующих сложных экономических задач:

- разработка средне- и долгосрочных прогнозов спроса;
- краткосрочное прогнозирование спроса по широкому ассортименту продукции;
- оценка формирующегося спроса на новые товары;
- определение отношений потребителей к новым товарам и возможного спроса на них;

- оценка конкуренции на рынке;
- определение положения фирмы на рынке;
- оценка целесообразности выхода фирмы на новые рынки

и т. д.

Достоинствами метода являются его относительная простота и применимость для прогнозирования практически любых ситуаций, в том числе в условиях неполной информации. Важной особенностью этого метода является возможность прогнозировать качественные изменения ситуаций, зависящих от внешних факторов, например характеристики рынка, уровень состояния экономической системы при изменении положения на рынке, возможное влияние экологии на производство и потребление.

К недостаткам метода относят субъективизм мнений экспертов, ограниченность их суждений во времени и пр.

Балльный метод. Его можно применять для прогнозирования как полезного эффекта объекта, так и элементов затрат. Сначала формируется экспертная группа из специалистов в данной области, численность которой должна быть не менее 9 человек. Для повышения однородности состава группы путем анонимного анкетирования можно сделать отсев специалистов, которые, по мнению большинства, не совсем компетентны в данной области. Затем коллективно устанавливаются или выбираются несколько важнейших параметров (3–5) объекта, влияющих на полезный эффект, и элементы затрат.

Следующий шаг — установление важности параметра экспертным путем. Рассмотрим два метода. По первому — каждый эксперт каждому параметру объекта присваивает баллы по шкале от 0 до 10. Тогда важность параметра определяется по формуле

$$w_i = [(B_{ij} / B_{cj})] / m,$$

где w_i — весомость i -го параметра объекта; i — номер параметра объекта; j — номер эксперта; m — количество экспертов в группе; B_{ij} — балл, присвоенный i -му параметру j -м экспертом; B_{cj} — сумма баллов, присвоенных j -м экспертом всем параметрам объекта.

Метод мозгового штурма (коллективной генерации идей). Метод коллективной генерации идей (по американской терминологии, метод «мозгового штурма») направлен на получение большого количества идей, в том числе и от лиц, которые, обладая достаточно высокой степенью эрудиции, обычно воздерживаются от высказываний. Основой метода является выработка решения на основе совместного обсуждения поставленной проблемы экспертами. В качестве экспертов, как правило, привлекаются не только специалисты по данной проблеме, но и люди, которые являются специалистами в других связанных областях проблемы. Дискуссия строится по заранее разработанному сценарию.

При проведении экспертного опроса с помощью метода коллективной генерации идей проблема должна быть сформулирована в основных терминах

с выделением центрального вопроса. Кроме того, предусматриваются отсутствие любого вида критики, препятствующей формулировке идей, свободная интерпретация идей в рамках данного вопроса, стремление к получению максимального количества идей, учитывая принцип повышения вероятности полезных предложений с увеличением общего их количества, и, наконец, поощрение различных комбинаций идей и путей их усовершенствования.

К числу важнейших *недостатков* метода коллективной генерации идей относятся значительный уровень информационного шума, создаваемого тривиальными идеями, спонтанный и стихийный характер генерации идей.

Методы системного анализа. Методы системного анализа и исследования операций базируются на использовании математических (детерминированных), вероятностных моделей, представляющих изучаемый процесс, систему или вид деятельности. Такие модели дают количественную характеристику проблемы и служат основой для принятия управленческого решения при поисках оптимального варианта. Насколько обоснованы эти решения, являются ли они лучшими из возможных, учтены ли и взвешены все факторы, определяющие оптимальное решение, каков критерий, позволяющий определить, что данное решение действительно наилучшее, — таков круг вопросов, имеющих большое значение для руководителей производства, ответы на которые можно найти с помощью методов исследования операций.

Важным направлением системного анализа является определение или выявление этапов решения проблемы. Наиболее характерными для данной процедуры являются следующие этапы:

- определение задачи и выбор целей исследования;
- установление альтернатив;
- анализ альтернатив;
- выбор наилучшего решения;
- представление результатов исследования;
- контроль за выполнением решений.

Важное значение в исследованиях проблемной ситуации отводится применению категорий теории полезности П. Фишберна, Р. Льюса и Х. Райфа, Дж. Диксона и др. Эта теория предполагает, что результаты какого-либо решения измеряются одним приведенным показателем, который называется *полезность*, измеряемым формально функцией полезности. При решении задачи принятия решения выбирается тот вариант, который максимально полезен с точки зрения ЛПР.

Большинство методов исследования структуры проблемной ситуации, анализа целей, исследования операций и пр. являются разновидностями *методологии системного анализа*, теоретические и методологические проблемы которого достаточно хорошо изучены в отечественной и зарубежной литературе. Подробный сравнительный анализ методов исследования и оценки сложных проблемных ситуаций и проблем, проведения сложных экспертиз

и их информационно-системная поддержка даются в работах В. Н. Волковой, А. А. Денисова, С. В. Широковой¹.

15.2. Виды группового согласования экспертных решений

Существует несколько видов группового согласования экспертных оценок. Наиболее распространенной классификацией является деление по процедуре формирования принципа группового согласования П. На основании данной классификации различают 3 группы методов согласования:

- принцип диктатора;
- принцип голосования;
- внесистемные принципы выбора.

Кратко определим суть каждого принципа выбора.

1. *Принцип диктатора.* Основное содержание данного метода состоит в том, что функция группового предпочтения совпадает с функцией предпочтения одного из членов экспертной группы. В этом случае функция группового предпочтения $F(f)$ имеет вид

$$F(f_1, \dots, f_l) = f_k,$$

где k — индекс диктатора.

Обычно этот индекс (номер) принадлежит эксперту с наибольшей степенью важности ($k = 1$), т. е. первому из списка членов группы, проранжированных по важности. Как правило, это либо руководитель предприятия, либо руководитель научного направления, либо руководитель экспертной группы.

Оптимальное решение в этом случае соответствует максимальному значению функции предпочтения из всех сформированных экспертами:

$$Y^* = \max_{Y_i} f_k(Y_i) = \text{Agr} \max_{Y_i} f(Y_i).$$

Таким образом, при решении простых задач выбора типа G и представлении процедуры решения в виде системы матриц в качестве формальной постановки задачи принятия группового решения имеем m членов экспертной группы, решающих однокритериальную задачу с n альтернативами. Считаем, что задача записана в типовой таблице для задач класса G (табл. 15.1).

Тогда метод группового согласования по принципу диктатора сводится к выбору той строки из матрицы, которая соответствует «главному» эксперту (диктатору). Если каждому эксперту присвоить некоторый коэффициент важности β , то процедура сводится к выбору строки с максимальным коэффициентом важности эксперта, т. е.

¹ Волкова В. Н. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник. — М.: Высшая школа, 2004. 616 с.

$$Y^* = \max \bigcup_{i=1}^n Y_i.$$

Таблица 15.1. Матрица формального описания задачи типа G

Альтернативы	Y_1	Y_2	...	Y_n
Предпочтение ЛПР ₁	f_{11}	f_{12}	...	f_{1n}
Предпочтение ЛПР ₂	f_{21}	f_{22}	...	f_{2n}
...				
Предпочтение ЛПР _m	f_m	f_{m1}	...	f_{mn}

2. *Принцип голосования.* Если предыдущий принцип основан на выборе предпочтений одного из группы экспертов и использовании его предпочтений в качестве общегруппового критерия выбора, то в данной процедуре используется механизм подсчета голосов, поданных «за» и «против» сформулированных экспертами решений. Таким образом, принимается решение, соответствующее той коалиции в группе экспертов, которая обладает наибольшим числом голосов.

Этот принцип используется, если в группе экспертов не выделяется явный лидер (диктатор), а имеет место коалиционная структура самой группы и требуется количественно согласованная оценка мнения экспертов.

В этом случае если принят d за число экспертов в группе, то групповая функция предпочтения строится в виде

$$F(f_1, \dots, f_l) = F_p,$$

где F_p — функция предпочтения той коалиции группы экспертов, число членов в которой больше определенного порога, т. е.

$$F_{pr} = (f_{p1}, f_{p2}, \dots, f_{ps}), \text{ если } \Pi_{pr} \geq c,$$

где f_{pi} — функция предпочтения p_i -й коалиции; Π_{pr} — число членов r -й коалиции; c — пороговое значение критерия выбора.

В зависимости от принятого принципа формирования пороговых значений различают следующие разновидности принципа голосования:

- если в качестве порога выбрано значение $c \geq d/2$ (не менее 50% голосов), то критерий выбора имеет вид *простого большинства*;
- если в качестве порога выбрано значение $c \geq (2/3) \times d$ (не менее 66% голосов), то выбор происходит по принципу *квалифицированного большинства*;
- если в качестве порога выбрано значение $c = d$, то процедура выбора осуществляется по принципу *консенсуса*, т. е. требуется полное (100%) согласие всех членов экспертной группы.

В общем виде оптимальное (наилучшее) решение для принципа голосования ищется в виде

$$Y^* = \max_{Y_i} F_{pr}(Y_i).$$

Так, решение задачи типа G (см. табл. 14.1) сводится к подсчету суммарных значений функций полезности экспертов по каждой альтернативе, затем производятся сравнение их с заданным порогом и определение альтернатив, значение полезности которых превышает этот порог. Если, например, в качестве значений функции полезности использовать простые ранги, по которым оцениваются альтернативы, то суммарное значение полезности по каждому варианту представляет собой сумму рангов. И наилучшими из них будут те, которые имеют минимальные значения обобщенных рангов. Если они не превышают некоторую заданную величину, то данные варианты являются эффективными.

Рассмотрим организацию принципов голосования на разных критериях порогового значения c .

2.1. Простое большинство голосов. На *первом этапе* организации процедуры выбора эксперты формируют информационное описание задания в соответствии с решаемым классом задачи. На основании полученного описания на *втором этапе* проводятся оценка и анализ альтернатив в целях определения допустимых вариантов решения.

На *третьем этапе* проводится экспертная оценка альтернатив, которая проводится индивидуально по каждому эксперту. На *четвертом этапе* проводится групповое согласование полученных экспертных оценок. В простейшем случае для согласования оценок можно использовать простое голосование, в более сложных случаях — метод парных сравнений или метод построения матрицы-медианы. На основании данной процедуры определяется число голосов экспертов, поданных за ту или иную альтернативу. Та альтернатива, которая получила наибольшее число голосов и набрала 50% голосов плюс 1 голос, и определяется как рациональное решение.

2.2. Квалифицированное большинство голосов. Процедура решения аналогична предыдущему методу в пределах 1–3 этапов. На четвертом этапе для более достоверного и надежного решения выбирают порог выбора, равный двум третям от общего числа экспертов. Иногда порог выбора повышают до 75% (большинство в три четверти от размера экспертной группы). Повышение уровня порога выбора позволяет говорить о повышении уровня исполнительской дисциплины при реализации принятых групповых решений.

2.3. Полностью согласованное решение — консенсус. Путь к уменьшению риска субъективности индивидуального суждения заключается в обращении к экспертной группе, члены которой обсуждают свои оценки, стараясь прийти к консенсусу. Процедура решения аналогична организации метода простого большинства в пределах первых трех этапов. Четвертый этап проводится в условиях полного согласия всех членов экспертной группы, которого добиваются дополнительным исследованием параметров эффективности альтернатив, предложенных экспертами на предыдущих этапах. Для увеличения достоверности и надежности решения здесь выбирается порог выбора, равный 100%

экспертной группы, т. е. выбранное в качестве рационального решение должно быть одобрено всеми экспертами без исключения.

3. *Внесистемные принципы выбора.* Данная группа методов базируется на использовании критериев выбора, которые не могут быть описаны содержанием конкретных методов предпочтений. Они характеризуют мотивы выбора, не связанные со значениями порога или конкретным значением индивидуальных предпочтений. В качестве мотивов выбора обычно используются:

- обычаи, которые применяются при решении специализированных задач;
- идеологические соображения;
- другие внесистемные соображения (религиозные, личная заинтересованность и др.).

Все вышеуказанные принципы согласования предполагают формирование альтернативных решений, характеризующихся методами, которые либо базируются на разбиении цели на подцели (с их тщательным анализом), либо используют статистическую обработку экспертных оценок.

Глава 16. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ ГРУППОВОМ СОГЛАСОВАНИИ

Несмотря на все большую роль математических методов при решении экономических задач, нельзя считать, что формальные методы современной математики окажутся универсальным средством решения всех проблем, возникающих в сферах деятельности общества. Методы, использующие результаты опыта и интуицию, т. е. эвристические (неформальные), безусловно, сохраняют свое значение и в дальнейшем. Особенно это касается вопросов проведения маркетинговых исследований.

Процедуры формирования целей маркетинговых исследований, вариантов их реализации, моделей, критериев и т. п. не могут быть формализованы. Многие оценки в этой области основываются на видении, интуиции, воображении и опыте того, кто их формирует.

Примерами традиционных, эвристических процедур являются различные экспертизы, консилиумы, совещания и т. д. Порядок их проведения часто регламентируется традицией, т. е. в конечном счете снова опытом, и во многих отношениях представляет собой искусство. Однако постепенно и в эту область начинают проникать разнообразные математические методы обработки исходного материала эвристического происхождения, и в первую очередь статистические методы.

Можно выделить два уровня использования экспертных оценок: качественный и количественный. Если применение экспертных оценок на качественном уровне (определение возможных направлений развития рыночной деятельности, выбор мероприятий по продвижению продукта и т. п.) не вызывает сомнения, то возможность применения количественных балльных оценок нередко подвергается критике. При этом справедливо отмечают, что балльные оценки нередко скрывают неумение квалифицированно оценивать те или иные действия, явления, перспективы развития.

Кроме того, наиболее часто применяемый метод получения интегральных экспертных оценок на основе взвешенных сумм имеет ряд серьезных недостатков.

Однако в связи с ограниченными возможностями применения в управлении и маркетинге экономико-математических методов, отсутствием во многих случаях статистической и другой информации, а также надежных методов определения соответствия экономико-математических моделей реальным объектам экспертные оценки являются единственным средством решения многих задач. Для повышения достоверности и надежности результатов, получаемых с помощью экспертных оценок, надо владеть теоретическими и методическими основами использования данных методов, не поддаваться иллюзии простоты их применения.

Методы экспертных оценок используются для прогнозирования событий будущего, если отсутствуют статистические данные или их недостаточно. Они

также применяются для количественного измерения таких событий, для которых не существует других способов измерения, например при оценке важности целей и предпочтительности отдельных методов продвижения. Методы экспертных оценок применяются как для количественного измерения событий в настоящем, так и для прогнозирования.

Предполагается, что эксперт основывает свое суждение на группе причинных факторов, действующих в рамках определенного сценария, оценивая вероятность их реализации и их вероятное влияние на изучаемый показатель, например уровень спроса.

При этом данная казуальная структура неразрывно связана с личностью эксперта, так что другой эксперт, поставленный перед той же проблемой, может, используя ту же информацию, прийти к другим выводам.

При проведении маркетинговых исследований широко применяются экспертные оценки, основанные на суждениях менеджеров фирм, для которых проводится данное маркетинговое исследование, торговых и иных посредников и потребителей (покупателей). Менеджера просят дать по возможности точную оценку исходя из имеющейся у него информации с указанием (например, в форме вероятностных показателей) степени точности или его уверенности в своих оценках.

Достоверность оценок можно повысить следующим образом. Нужно проанализировать данные о расхождении экспертных оценок и их действительных значений, найденных в процессе реализации событий, и сделать соответствующие переоценки компетентности экспертов, в частности поставив оплату труда экспертов в прямую зависимость от уровня их компетентности. Экспертов, обладающих низкой компетентностью, в дальнейшем не привлекать к проводимым экспертизам.

Наличие способа точного определения достоверности априорных оценок по существу предполагает знание истинных оценок, что одновременно исключает необходимость их определения.

При нахождении оценок экспертным путем помимо погрешности, вносимой недостатком информации о событиях и недостаточной компетентностью экспертов, возможна и погрешность совсем иного рода, обусловленная заинтересованностью экспертов в результатах оценки, что обязательно скажется на их достоверности. Наличие такого рода погрешности может значительно исказить оценки, вследствие чего необходимо предусмотреть соответствующие меры для устранения погрешности.

Например, всегда существует опасность систематического занижения оценок, потенциального спроса со стороны сбытовиков, которые заинтересованы иметь легковыводимый план по продажам, а в конце планового периода добиться значительного превышения плановых показателей.

Можно привести следующие методы коррекции таких оценок, снижающие риск систематической погрешности:

- попросить торговых работников самостоятельно определить степень погрешности их оценок. Эти данные можно затем использовать для уточнения прогноза;
- скорректировать оценки торговых работников с помощью регионального менеджера по продажам, который может иметь более широкий взгляд;
- ввести корректирующий коэффициент, основанный на учете погрешностей в прошлых прогнозах каждого торгового работника.

Одним из показателей, характеризующих пригодность эксперта, является степень его надежности. Под степенью надежности понимается относительная частота случаев, когда он приписывал более высокую вероятность тем событиям, которые впоследствии реализовывались. На этом основании считается, что чем чаще эксперт оказывался прав, тем выше его авторитет. Однако необходимо иметь в виду, что могут существовать обстоятельства, когда эксперт, несведущий в данном вопросе, дает правильный ответ с высокой степенью вероятности. Применяются как индивидуальные, так и групповые (коллективные) экспертные опросы.

16.1. Методы группового согласования при принятии решения

Если на предварительном этапе решения задачи были определены тип задачи и возможные ресурсы решения, то на следующих этапах необходимо определить оптимальную процедуру выбора альтернатив и принципы согласования мнений членов экспертной группы.

В зависимости от сложности самой задачи, степени ее определенности, целей и количества критериев выбора выделяют несколько способов реализации схемы выбора, которые и характеризуют метод решения групповой задачи. Сама процедура выбора в общем виде предусматривает решение m индивидуальных задач с n альтернативами. Затем решение каждого i -го эксперта согласовывается специальными методами согласования с результатами решения данной задачи другими экспертами.

Наиболее универсальным методом решения простых индивидуальных задач служит использование метода парных сравнений экспертов. Затем на основании результатов сравнений выбирается среднее по группе в виде медианы (структурной средней) — согласованная со всеми экспертами матрица оценок.

Существуют следующие методы группового выбора:

- выбор простым большинством голосов;
- выбор с учетом весовых коэффициентов;

Простое большинство голосов. После получения матрицы парных сравнений определяется такая матрица (со средними по группе оценками), которая наилучшим образом согласуется с имеющимися матрицами парных сравнений.

Такая матрица называется матрицей-медианой $|f_{ij}^*|$ и строится по следующему правилу:

$$\min_f \sum_{S=1}^d \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m |f_{ij}^S - f_{ij}| \Rightarrow |f_{ij}^*|, \quad (16.1)$$

где d — количество ЛПР в экспертной группе (количество матриц парных сравнений при решении задачи); f_{ij}^S — функция полезности альтернативы из матрицы-медианы; f_{ij} — функция полезности текущей альтернативы; m — число альтернатив.

Модуль разности в этом случае всегда равен либо 0, либо 1. Поэтому модуль разности можно определить как квадрат разности. Тогда формулу (16.1) можно упростить и представить ее в следующем виде:

$$\min_f \sum_{S=1}^d \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (f_{ij}^S - f_{ij})^2.$$

Раскрывая скобки, с учетом того, что для $(0, 1)$ -шкалы имеем $x^2 = x$, получим следующее соотношение:

$$\min_f \sum_{S=1}^d \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (f_{ij}^S - 2 \cdot f_{ij}^S \cdot f_{ij}) \quad (16.2)$$

Суммируем выражение (17.2) по параметру s и вводим обозначение

$$\sum_{S=1}^d f_{ij}^S = \alpha_{ij},$$

где α_{ij} — количество голосов, поданных d членами экспертной группы за то, что ранг r_i не больше ранга r_j , $r_i \leq r_j$, т. е. что решение Y_i не хуже решения Y_j . Если рассматривается не количество голосов, а количество целей — задача решается аналогично, при этом считают, что α_{ij} — есть суммарное число предпочтений Y_i решению Y_j с точки зрения достижения всех целей.

Тогда с учетом приведенных преобразований получим на основании (16.2) следующее выражение:

$$\min_{f_{ij}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (\alpha_{ij} - 2 \cdot \alpha_{ij} \cdot f_{ij} + d \cdot f_{ij}) = \min_{f_{ij}} \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} \cdot 2 \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} \cdot \left(\alpha_{ij} - \frac{d}{2} \right) \right].$$

Взятие минимума по f_{ij} соответствует взятию максимума от второго слагаемого, т. е.

$$\min_{f_{ij}} \sum_{S=1}^d \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m |f_{ij}^S - f_{ij}| = \max_{f_{ij}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} \cdot \left(\alpha_{ij} - \frac{d}{2} \right). \quad (16.3)$$

Достижение максимума по f_{ij} , где f принимает значение соответственно 0 или 1, происходит при следующем решающем правиле:

$$f_{ij}^* = \begin{cases} 1, & \text{если } \alpha_{ij} \geq \frac{d}{2} \\ 0, & \text{если иначе} \end{cases}, \quad (16.4)$$

где d — количество экспертов в группе.

Правило гласит, что *если* количество поданных голосов больше половины, т. е. $\alpha_{ij} \geq d/2$, то $f_{ij}^* = 1$ (это значит, что решение Y_i более предпочтительно, чем решение Y_j , так как оно собрало большинство голосов); а если иначе, то $f_{ij}^* = 0$.

Рассмотрим процедуру выбора с учетом весового коэффициента эксперта. Если эксперты или цели выбора неравноценны между собой, то необходимо задаваться соответствующими весовыми коэффициентами. Таким образом, если имеются коэффициенты важности целей или степени компетентности ЛПР ($\beta_s = 1 \dots d$), то медиана определяется в виде взвешенной суммы поразрядных несовпадений элементов матриц парных сравнений и искомой f_{ij}^* -матрицы, т. е.

$$\min_{f_{ij}} \sum_{s=1}^d \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \beta_s \cdot |f_{ij}^s - f_{ij}^*| \Rightarrow |f_{ij}^*|.$$

Если значение β нормировано, т. е.

$$\sum_{s=1}^m \beta_s = 1,$$

то, введя величину

$$b_{ij} = \sum_{s=1}^d \beta_s \cdot f_{ij}^s,$$

получим правило формирования элементов медианы:

$$f_{ij}^* = \begin{cases} 1, & \text{если } b_{ij} \geq \frac{1}{2} \\ 0, & \text{если иначе} \end{cases}.$$

На основании полученной результирующей матрицы-медианы можно упорядочить полученные решения. Для этого вычисляются коэффициенты, равные отношению суммы единиц в строке медианы к общему числу единиц (т. е. определяется относительное большинство голосов каждого решения), тем самым вычисляется величина

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^m f_{ij}^*}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij}^*}.$$

Упорядочивая коэффициент α , получаем ранжировку предпочтений по решениям.

16.2. Модель групповой оценки объектов выбора

В предыдущих разделах по выявлению методов анализа экспертных оценок были определены общие направления обработки индивидуальных оценок экспертов. Однако для уточнения и увеличения достоверности экспертной процедуры следует рассмотреть алгоритмы обработки результатов экспертного оценивания множества объектов выбора.

Рассмотрим задачу формализации группового оценивания альтернатив. Пусть m экспертов произвели оценку n объектов по l показателям. Результаты оценки представлены в виде величин x_{ij}^h , где j — номер эксперта, i — номер объекта, h — номер показателя (признака) сравнения. Если оценка объектов произведена методом ранжирования, то величины x_{ij}^h представляют собой ранги. Если оценка объектов выполнена методом непосредственной оценки или методом последовательного сравнения, то величины x_{ij}^h представляют собой числа из некоторого отрезка числовой оси или баллы. Обработка результатов оценки существенно зависит от рассмотренных методов измерения.

Рассмотрим случай, когда величины $x_{ij}^h (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m; h = 1, 2, \dots, l)$ получены методами непосредственной оценки или последовательного сравнения, т. е. x_{ij}^h являются числами, или баллами. Для получения групповой оценки объектов в этом случае можно воспользоваться средним значением оценки для каждого объекта:

$$x_i = \sum_{h=1}^l \sum_{j=1}^m q_h x_{ij}^h k_j (i = 1, 2, \dots, n), \quad (16.5)$$

где q_h — коэффициенты весов показателей сравнения объектов, k_j — коэффициенты компетентности экспертов.

Коэффициенты весов показателей и компетентности объектов являются нормированными величинами:

$$\sum_{h=1}^l q_h = 1; \sum_{j=1}^m k_j = 1. \quad (16.6)$$

Коэффициенты весов показателей могут быть определены экспертным путем или методом парных сравнений. Если q_{hj} — коэффициент веса h -го показателя, даваемый j -м экспертом, то средний коэффициент веса h -го показателя по всем экспертам равен

$$q_h = \sum_{j=1}^m q_{hj} k_j (h = 1, 2, \dots, l). \quad (16.7)$$

Получение групповой экспертной оценки путем суммирования индивидуальных оценок с весами компетентности и важности показателей при измерении свойств объектов в кардинальных шкалах основывается на предположении о выполнении аксиом теории полезности фон Неймана–Моргенштерна как для индивидуальных, так и для групповой оценок и условий неразличимости объектов в групповом отношении, если они неразличимы во всех индивидуальных оценках (частичный принцип Парето). В реальных задачах эти условия, как правило, выполняются, поэтому получение групповой оценки объектов путем суммирования с весами индивидуальных оценок экспертов широко применяется на практике.

Коэффициенты компетентности экспертов можно вычислить по апостериорным данным, т. е. по результатам оценки объектов. Основной идеей этого вычисления является предположение о том, что компетентность экспертов

должна оцениваться по степени согласованности их оценок с групповой оценкой объектов.

Алгоритм вычисления коэффициентов компетентности экспертов имеет вид рекуррентной процедуры:

$$x_i^t = \sum_{j=1}^m x_{ij} k_j^{t-1} (i=1, 2, \dots, n); \quad (16.8)$$

$$\lambda^t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} x_i^t (t=1, 2, \dots); \quad (16.9)$$

$$k_j^t = \frac{1}{\lambda^t} \sum_{i=1}^n x_{ij} x_i^t; \quad \sum_{j=1}^m k_j^t = 1 (j=1, 2, \dots, m). \quad (16.10)$$

Вычисления начинаются с $t=1$. В формуле (16.8) начальные значения коэффициентов компетентности принимаются одинаковыми и равными $k_j^0 = 1/m$. Тогда по формуле (16.8) групповые оценки объектов первого приближения равны средним арифметическим значениям оценок экспертов:

$$x_i^1 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij} (i=1, 2, \dots, n). \quad (16.11)$$

Далее вычисляются величина λ^1 по формуле (17.9):

$$\lambda^1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} x_i^1 \quad (16.12)$$

и значение коэффициентов компетентности первого приближения по формуле (16.10):

$$k_j^1 = \frac{1}{\lambda^1} \sum_{i=1}^n x_{ij} x_i^1. \quad (16.13)$$

Используя коэффициенты компетентности первого приближения, можно повторить весь процесс вычисления по формулам (16.8–16.10) и получить вторые приближения величин x_i^2 , λ^2 , k_j^2 .

Повторение рекуррентной процедуры вычислений оценок объектов и коэффициентов компетентности, естественно, ставит вопрос о ее сходимости. Для рассмотрения этого вопроса исключим из уравнений (16.8, 16.10) переменные k_j^{t-1} и x_i^t и представим эти уравнения в векторной форме:

$$x^t = \frac{1}{\lambda^{t-1}} B x^{t-1}; \quad k^t = \frac{1}{\lambda^t} C k^{t-1} (t=1, 2, \dots), \quad (16.14)$$

где матрицы B размерности $n \times n$ и C размерности $m \times m$ равны

$$B = X X', \quad C = X' X, \quad X = \|x_{ij}\|. \quad (16.15)$$

Величина λ^t в уравнении (17.14) определяется по формуле (17.9).

Если матрицы B и C неотрицательны и неразложимы, то, как это следует из теоремы Перрона–Фробениуса, при $t \rightarrow \infty$ векторы x^t и k^t сходятся к собственным векторам матриц B и C , соответствующим максимальным собственным числам этих матриц:

$$x = \lim_{t \rightarrow \infty} x^t, \quad k = \lim_{t \rightarrow \infty} k^t. \quad (16.16)$$

Предельные значения векторов x и k можно вычислить из уравнений:

$$\begin{aligned} Bx &= \lambda_B x, \sum_{i=1}^n x_i = 1, |B - \lambda_B E| = 0 \\ Ck &= \lambda_C k, \sum_{j=1}^m k_j = 1, |C - \lambda_C E| = 0, \end{aligned} \quad (16.17)$$

где λ_B, λ_C — максимальные собственные числа матриц B и C .

Условие неотрицательности матриц B и C легко выполняется выбором неотрицательных элементов x_j матрицы X оценок объектов экспертами.

Условие неразложимости матриц B и C практически выполняется, поскольку если эти матрицы разложимы, то это означает, что эксперты и объекты распадаются на независимые группы. При этом каждая группа экспертов оценивает только объекты своей группы. Естественно, что получать групповую оценку в этом случае нет смысла. Таким образом, условия неотрицательности и неразложимости матриц B и C , а следовательно, и условия сходимости процедур (16.8–16.10) в практических условиях выполняются.

Следует заметить, что практическое вычисление векторов групповой оценки объектов и коэффициентов компетентности проще выполнять по рекуррентным формулам (16.8–16.10). Вычисление предельных значений этих векторов по уравнению (16.17) требует применения компьютерных методов.

Рассмотрим случай, когда эксперты производят оценку множества объектов методом ранжирования так, что величины x_j есть ранги. Обработка результатов ранжирования заключается в построении обобщенной ранжировки. Для построения такой ранжировки введем конечномерное дискретное пространство ранжировок и метрику в этом пространстве. Каждая ранжировка множества объектов j -м экспертом есть точка R_j в пространстве ранжировок.

Ранжировку R_j можно представить в виде матрицы парных сравнений, элементы которой определим следующим образом:

$$a_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{если } O_k \succ O_l; \\ -1, & \text{если } O_l \prec O_k; \\ 0, & \text{если } O_k \sim O_l. \end{cases}$$

Очевидно, что $a_k = 0$, поскольку каждый объект эквивалентен самому себе. Элементы матрицы $\|a_{kl}\|$ антисимметричны $a_k = -a_k$.

Если все ранжируемые объекты эквивалентны, то все элементы матрицы парных сравнений равны нулю. Такую матрицу будем обозначать R_0 и считать, что точка в пространстве ранжировок, соответствующая матрице R_0 , является началом отсчета.

Обращение порядка ранжируемых объектов приводит к транспонированию матрицы парных сравнений.

Метрика $d(R_i, R_j)$ как расстояние между i -й и j -й ранжировками определяет-ся единственным образом формулой

$$d(R_i, R_j) = \frac{1}{2} \sum_{k,l=1}^n |a_{kl}^i - a_{kl}^j|,$$

если выполнены следующие 6 аксиом:

1. $d(R_i, R_j) \geq 0$, причем равенство достигается, если ранжировки R_i и R_j тождественны.

2. $d(R_i, R_j) = d(R_j, R_i)$.

3. $d(R_i, R_h) + d(R_h, R_j) \geq d(R_i, R_j)$, причем равенство достигается, если ранжировка «лежит между» ранжировками R_i и R_j . Понятие «лежит между» означает, что суждение о некоторой паре $O_k O_l$ объектов в ранжировке совпадает с суждением об этой паре либо в R_i , либо в R_j или же в $R_i O_k \succ O_l$, в $R_j O_l \succ O_k$, а в $R_h O_k \propto O_l$.

4. $d(R_i', R_j') = d(R_i, R_j)$, где R_i' получается из R_i некоторой перестановкой объектов, а R_j' из R_j , той же самой перестановкой. Эта аксиома утверждает независимость расстояния от перенумерации объектов.

5. Если две ранжировки R_i, R_j одинаковы всюду, за исключением n -элементного множества элементов, являющегося одновременно сегментом обеих ранжировок, то $d(R_i, R_j)$ можно вычислить, как если бы рассматривалась ранжировка только этих n объектов. Сегментом ранжировки называется множество, дополнение которого непусто и все элементы этого дополнения находятся либо впереди, либо позади каждого элемента сегмента. Смысл этой аксиомы состоит в том, что если две ранжировки полностью согласуются в начале и конце сегмента, а отличие состоит в упорядочении средних n объектов, то естественно принять, что расстояние между ранжировками должно равняться расстоянию, соответствующему ранжировкам средних n объектов.

6. Минимальное расстояние равно единице.

Пространство ранжировок при двух объектах можно изобразить в виде трех точек, лежащих на одной прямой. Расстояния между точками равны $d(R_1, O) = d(R_2, O) = 1, d(R_1, R_2) = 2$. При трех объектах пространство всех возможных ранжировок состоит из 13 точек.

Используя введенную метрику, определим обобщенную ранжировку как такую точку, которая наилучшим образом согласуется с точками, представляющими собой ранжировки экспертов. Понятие наилучшего согласования на практике чаще всего определяют как медиану и среднюю ранжировку.

Медиана есть такая точка в пространстве ранжировок, сумма расстояний от которой до всех точек — ранжировок экспертов является минимальной. В соответствии с определением медиана вычисляется из условия

$$R_M \leftarrow \min_R \sum_{j=1}^m d(R_j, R).$$

Средняя ранжировка есть такая точка, сумма квадратов расстояний от которой до всех точек — ранжировок экспертов является минимальной. Средняя ранжировка определяется из условия

$$R_C \Leftarrow \min_R \sum_{j=1}^m d^2(R_j, R).$$

Пространство ранжировок конечно и дискретно, поэтому медиана и средняя ранжировка могут быть только какими-либо точками этого пространства. В общем случае медиана и средняя ранжировка могут не совпадать ни с одной из ранжировок экспертов.

Если учитывается компетентность экспертов, то медиана и средняя ранжировка определяются из условий:

$$R_M \Leftarrow \min_R \sum_{j=1}^m k_j d(R_j, R), \quad R_C \Leftarrow \min_R \sum_{j=1}^m k_j d^2(R_j, R),$$

где k_j — коэффициенты компетентности экспертов.

Если ранжировка объектов производится по нескольким показателям, то вначале производится определение медианы для каждого эксперта по всем показателям, а затем вычисляется медиана по множеству экспертов:

$$R_{M_j} \Leftarrow \min_R \sum_{h=1}^l q_h d(R_j^h, R); \quad (j=1, 2, \dots, m);$$

$$R_M \Leftarrow \min_R \sum_{j=1}^m k_j d(R_{M_j}, R),$$

где q_h — коэффициенты весов показателей.

Основным недостатком определения обобщенной ранжировки в виде медианы или средней ранжировки является трудоемкость расчетов. Естественный способ отыскания R_M или R_C в виде перебора всех точек пространства ранжировок неприемлем вследствие очень быстрого роста равномерности пространства при увеличении количества объектов и, следовательно, роста трудоемкости вычислений. Можно свести задачу отыскания R_M или R_C к специфической задаче целочисленного программирования. Однако это не очень уменьшает вычислительные трудности.

Расхождение обобщенных ранжировок при различных критериях возникает при малом числе экспертов и несогласованности их оценок. Если мнения экспертов близки, то обобщенные ранжировки, построенные по критериям медианы и среднего значения, будут совпадать.

Сложность вычисления медианы или средней ранжировки привела к необходимости применения более простых способов построения обобщенной ранжировки.

К числу таких способов относится способ сумм рангов.

Этот способ заключается в ранжировании объектов по величинам сумм рангов, полученных каждым объектом от всех экспертов. Для матрицы ранжировок $\|r_{ij}\|$ составляются суммы

$$r_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Далее объекты упорядочиваются по цепочки неравенств $r_1 < r_2 < \dots < r_n$.

Для учета компетентности экспертов достаточно умножить каждую i -ю ранжировку на коэффициент компетентности j -го эксперта $O \geq k_j \geq 1$. В этом случае вычисление суммы рангов для i -го объекта производится по следующей формуле:

$$r_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} k_j.$$

Обобщенная ранжировка с учетом компетентности экспертов строится на основе упорядочения сумм рангов для всех объектов.

Следует отметить, что построение обобщенной ранжировки по суммам рангов является корректной процедурой, если ранги назначаются как места объектов в виде натуральных чисел 1, 2, ..., n . Если назначать ранги произвольным образом, как числа в шкале порядка, то сумма рангов, вообще говоря, не сохраняет условие монотонности преобразования и, следовательно, можно получать различные обобщенные ранжировки при различных отображениях объектов на числовую систему. Нумерация мест объектов может быть произведена единственным образом с помощью натуральных чисел. Поэтому при хорошей согласованности экспертов построение обобщенной ранжировки по методу сумм рангов дает результаты, согласующиеся с результатами вычисления медианы.

Еще одним более обоснованным в теоретическом отношении подходом к построению обобщенной ранжировки является переход от матрицы ранжировок к матрице парных сравнений и вычисление собственного вектора, соответствующего максимальному собственному числу этой матрицы. Упорядочение объектов производится по величине компонентов собственного вектора.

16.3. Модели согласования экспертных оценок

На этапе анализа и обработки экспертных оценок основной проблемой является не получение индивидуальных оценок каждого эксперта, а формирование групповой оценки, которая, собственно, и определяется тем принципом согласования мнений экспертов, который формируется на предыдущих этапах, а здесь реализуется.

При оценке и ранжировании альтернатив (объектов выбора) эксперты обычно расходятся во мнениях по их эффективности и действию на решаемую проблему. В связи с этим возникает необходимость количественной оценки тех голосов, которые были сформулированы экспертами при выборе наиболее рациональных альтернатив. Такая количественная оценка определяет степень согласия экспертов. Получение количественной меры согласованности мнений экспертов позволяет более обоснованно проводить выбор наиболее эффективного решения и точнее интерпретировать причины в расхождении мнений экспертов.

Такая количественная мера носит название *коэффициента конкордации* и используется при оценке степени согласования мнений различных экспертов относительного одного и того же объекта выбора.

В зависимости от имеющейся информации и способа вычисления коэффициента известны два типа меры согласованности мнений группы экспертов: дисперсионный и энтропийный коэффициенты конкордации.

Дисперсионный коэффициент конкордации. Рассмотрим матрицу результатов ранжировки n объектов группой из m экспертов r_j ($j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n$), где r_j — ранг, присваиваемый j -м экспертом i -му объекту. Составим суммы рангов по каждому столбцу. В результате получим вектор с компонентами¹:

$$r_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (16.18)$$

Рассмотрим величины r_j как реализации случайной величины и найдем оценку дисперсии. Как известно, оптимальная по критерию минимума среднего квадрата ошибки оценка дисперсии определяется формулой

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2, \quad (16.19)$$

где $\bar{r}$ — оценка математического ожидания, равная

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i. \quad (16.20)$$

Дисперсионный коэффициент конкордации определяется как отношение оценки дисперсии (17.19) к максимальному значению этой оценки:

$$W = \frac{D}{D_{\max}}. \quad (16.21)$$

Коэффициент конкордации изменяется от нуля до единицы, поскольку $0 \leq D \leq D_{\max}$.

Вычислим максимальное значение оценки дисперсии для случая отсутствия связанных рангов (все объекты различны). Предварительно покажем, что оценка математического ожидания зависит только от числа объектов и количества экспертов. Подставляя в (16.20) значение r_i из (16.18), получаем

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ij}. \quad (16.22)$$

Рассмотрим вначале суммированные по i при фиксированном j . Это есть сумма рангов для j -го эксперта. Поскольку эксперт использует для ранжировки натуральные числа от 1 до n , то, как известно, сумма натуральных чисел от 1 до n равна

$$\sum_{i=1}^n r_{ij} = \frac{n(n+1)}{2}. \quad (16.23)$$

Подставляя (16.23) в (16.22), получаем

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \cdot \frac{n(n+1)}{2} \sum_{j=1}^m = \frac{(n+1)m}{2}. \quad (16.24)$$

¹Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. — М.: Статистика, 1980. 263 с.

Таким образом, среднее значение зависит только от числа экспертов m и числа объектов n .

Для вычисления максимального значения оценки дисперсии подставим в (16.19) значение r_i из (16.18) и возведем в квадрат двучлен в круглой скобке. В результате получаем

$$D = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m r_{ij} \right)^2 - 2\bar{r} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ij} + n\bar{r}^2 \right]. \quad (16.25)$$

Учитывая, что из (16.22) следует

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ij} = n\bar{r},$$

получаем

$$D = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m r_{ij} \right)^2 - n\bar{r}^2 \right]. \quad (16.26)$$

Максимальное значение дисперсии достигается при наибольшем значении первого члена в квадратных скобках. Величина этого члена существенно зависит от расположения рангов — натуральных чисел в каждой строке i . Пусть, например, все m экспертов дали одинаковую ранжировку для всех n объектов. Тогда в каждой строке матрицы $\|r_{ij}\|$ будут расположены одинаковые числа. Следовательно, суммирование рангов в каждой i -й строке дает m -кратное повторение i -го числа:

$$\sum_{j=1}^m r_{ij} = im.$$

Возводя в квадрат и суммируя по i , получаем значение первого члена в (16.26):

$$\sum_{i=1}^n i^2 m^2 = m^2 \sum_{i=1}^n i^2 = \frac{m^2(n+1)(n+2)n}{6}. \quad (16.27)$$

Теперь предположим, что эксперты дают несовпадающие ранжировки, например для случая $n = m$ все эксперты присваивают разные ранги одному объекту. Тогда

$$\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m r_{ij} \right)^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{m(m+1)}{2} \right)^2 = \frac{m^2(m+1)^2 n}{4}.$$

Сравнивая это выражение с m_2 при $m = n$, убеждаемся, что первый член в квадратных скобках формулы (16.14) равен второму члену и, следовательно, оценка дисперсии равна нулю.

Таким образом, случай полного совпадения ранжировок экспертов соответствует максимальному значению оценки дисперсии. Подставляя (16.27) в (17.26) и выполняя преобразования, получаем

$$D_{\max} = \frac{m^2(n^3 - n)}{12(n-1)}. \quad (16.28)$$

Введем обозначение

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m r_{ij} - \bar{r} \right)^2. \quad (16.29)$$

Используя (16.29), запишем оценку дисперсии (16.19) в виде

$$D = \frac{1}{n-1} S. \quad (16.30)$$

Подставляя (16.28–16.30) в (16.21) и сокращая на множитель $(n-1)$, запишем окончательное выражение для коэффициента конкордации¹:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}. \quad (16.31)$$

Данная формула определяет коэффициент конкордации для случая отсутствия связанных рангов.

Если в ранжировках имеются связанные ранги, то максимальное значение дисперсии в знаменателе формулы (16.31) становится меньше, чем при отсутствии связанных рангов. Можно показать, что при наличии связанных рангов коэффициент конкордации вычисляется по формуле

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j}, \quad (16.32)$$

где

$$T_j = \sum_{k=1}^{H_j} (h_k^3 - h_k) \quad (16.33)$$

В формуле (16.32) T_j — показатель связанных рангов в j -й ранжировке; H_j — число групп равных рангов в j -й ранжировке; h_k — число равных рангов в k -й группе связанных рангов при ранжировке j -м экспертом. Если совпадающих рангов нет, то $H_j = 0$, $h_k = 0$ и, следовательно, $T_j = 0$. В этом случае формула (16.32) совпадает с формулой (16.31).

Коэффициент конкордации равен 1, если все ранжировки экспертов одинаковы. Коэффициент конкордации равен нулю, если все ранжировки различны, т. е. совершенно нет совпадения.

Коэффициент конкордации, вычисляемый по формуле (16.31) или (16.32), является оценкой истинного значения коэффициента и, следовательно, представляет собой случайную величину. Для определения значимости оценки коэффициента конкордации необходимо знать распределение частот для различных значений числа экспертов m и количества объектов n . Распределение частот для W при $3 \leq m \leq 20$ и $3 \leq n \leq 7$ вычислено в работе С. Д. Бешелева и Ф. Г. Гурвич¹. Для больших значений m и n можно использовать известные статистики. При числе объектов $n > 7$ оценка значимости коэффициента конкордации может быть произведена по критерию χ^2 . Величина $Wm(n-1)$ имеет χ^2 распределение с $v = n-1$ степенями свободы.

При наличии связанных рангов χ^2 распределение с $v = n-1$ степенями свободы имеет величина:

¹ Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок.

$$\chi^2 = \frac{12S}{mn(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^m T_j}. \quad (16.34)$$

Энтропийный коэффициент конкордации определяется формулой (коэффициент согласия)

$$W = 1 - \frac{H}{H_{\max}}, \quad (16.35)$$

где H — энтропия, вычисляемая по формуле

$$H = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \log p_{ij}, \quad (16.36)$$

а $H_{\max}$ — максимальное значение энтропии. В формуле для энтропии p_{ij} — оценки вероятностей j -го ранга, присваиваемого i -му объекту. Эти оценки вероятностей вычисляются в виде отношения количества экспертов m_j , приславших объекту O_i ранг j к общему числу экспертов.

$$p_{ij} = \frac{m_{ij}}{m}. \quad (16.37)$$

Максимальное значение энтропии достигается при равновероятном распределении рангов, т. е. когда $m_j = m/n$. Тогда

$$p_{ij} = \frac{m}{mn} = \frac{1}{n}. \quad (16.38)$$

Подставляя это соотношение в формулу (16.36), получаем:

$$H_{\max} = -\frac{1}{n} \log \frac{1}{n} \sum_{i,j=1}^n = n \log n. \quad (16.39)$$

Коэффициент согласия изменяется от нуля до единицы. При $W_{\Sigma} = 0$ расположение объектов по рангам равновероятно, поскольку в этом случае $H = H_{\max}$. Данный случай может быть обусловлен или невозможностью ранжировки объектов по сформулированной совокупности показателей, или полной несогласованностью мнений экспертов. При $W_{\Sigma} = 1$, что достигается при нулевой энтропии ($H = 0$), все эксперты дают одинаковую ранжировку. Действительно, в этом случае для каждого фиксированного объекта O_i все эксперты присваивают ему один и тот же ранг j , следовательно, $p_j = 1$, а $p_{kj} = 0$ $k \neq j, k = 1, 2, \dots, n$. Поэтому и $H = 0$.

Сравнительная оценка дисперсионного и энтропийного коэффициентов конкордации показывает, что эти коэффициенты дают примерно одинаковую оценку согласованности экспертов при близких ранжировках. Однако если, например, вся группа экспертов разделилась в мнениях на две подгруппы, причем ранжировки в этих подгруппах противоположные (прямая и обратная), то дисперсионный коэффициент конкордации будет равен нулю, а энтропийный коэффициент конкордации будет равен 0,7. Таким образом, энтропийный коэффициент конкордации позволяет зафиксировать факт разделения мнений на две противоположные группы. Объем вычислений для энтропийного коэффициента конкордации несколько больше, чем для дисперсионного коэффициента конкордации.

Глава 17. ПРИМЕРЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ

17.1. Оценка степени компетентности эксперта

При оценке согласованности мнений (оценок) экспертов используют различные способы их вычисления. Иногда для оценки согласованности используют показатели, позволяющие оценить уровень компетентности эксперта, который, в свою очередь, определяется как характером решаемой задачи, так и возможностями проведения конкретного экспертного опроса.

На наш взгляд, оценку следует строить на основе определенной шкалы, каждый балл которой определяется с помощью выбора соответствующих характеристик, оценивающих квалификацию эксперта. При этом должен быть учтен уровень квалификации эксперта в узкой области специализации, уровень теоретической подготовки, его практический опыт и ширина кругозора. Перечисленные характеристики лучше всего оценивать по десятибалльной шкале, разработанной специально к конкретному экспертному опросу. Полученные характеристики следует свести в один показатель, характеризующий объективную оценку компетентности эксперта h_j .

Кроме того, целесообразно определить показатель относительной самооценки эксперта (субъективный показатель h_{cj}). Этот показатель получается следующим образом: для каждого вопроса или группы вопросов, по которым считается необходимым оценить компетентность эксперта, в таблице экспертных оценок предусматривается шкала под названием «относительная самооценка эксперта». Эксперту предлагается самому проставить себе балл по десятибалльной шкале, ориентируясь, к примеру, на следующие значения баллов (табл. 17.1)

В целом показатель «относительная самооценка эксперта» направлен на то, чтобы эксперт сам оценил уровень своей компетентности по заданному вопросу.

Для того чтобы шкала баллов не оказывала перекрестного воздействия на самооценку, в графе «относительная самооценка эксперта» можно привести перечень характеристик компетентности экспертов без проставления баллов. В этом случае эксперт должен подчеркнуть те характеристики, которые, по его мнению, определяют уровень личной компетентности, а оценка в баллах предоставляется рабочей группой при анализе собранных анкет.

Произведение объективного и субъективного показателей, деленное на сто, будет характеризовать компетентность эксперта по данному вопросу, т. е.

$$h_j = \frac{h_j^0 h_{cj}^0}{100}.$$

Таблица 17.1. Критерии оценки характеристик эксперта

Количество баллов	Характеристика эксперта
3	Вопрос не входит в сферу тесно связанного с его узкой специализацией направления (например, знакомство с проблемой по литературным источникам, по работе на другом предприятии и т. п.)
5	Вопрос входит в сферу тесно связанного с его узкой специализацией направления (смежная прикладная дисциплина, смежная область практической деятельности)
8	В практическом решении данного вопроса эксперт участвует, но этот вопрос не входит в сферу его узкой специализации
10	Эксперт специализируется по данному вопросу, имеет по нему законченные теоретические или практические разработки (научные исследования, запущенные в производство технические разработки, данный вопрос непосредственно относится к области его узкой служебной деятельности)

Деление на 100 нужно для приведения диапазона изменения h_j к виду $0 < h_j < 1$. Тогда показатель компетентности эксперта можно трактовать как субъективную вероятность задания им достоверной оценки.

При неоднократном повторении опроса одним и тем же коллективом экспертов (либо устойчивым большинством) по сходным вопросам можно и необходимо на каждом новом опросе воспользоваться уже накопленными результатами для уточнения характеристик компетентности экспертов.

Кроме того, компетентность экспертов может быть определена самими экспертами. Для этого каждый эксперт, входящий в группу, задает весовые коэффициенты всем остальным экспертам, кроме себя. Далее определяется среднеарифметическая оценка компетентности каждого эксперта.

В табл. 17.2 приводится условный пример определения рангов важности событий исходя из их коэффициентов относительной важности. (Более важное событие имеет меньший ранг важности.)

Таблица 17.2. Определение рангов важности

		Альтернативы			
		Y_1	Y_2	...	Y_m
Оценки экспертов	Эксперт 1 — J_1	f_{11}	f_{12}	...	f_{d1}
	Эксперт 2 — J_2	f_{21}	f_{22}	...	f_{d2}
	...	...	...	...	...
	Эксперт d — J_d	a_{d1}	a_{d2}	...	a_{dm}
Ранги важности экспертов	Эксперт 1 — J_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{d1}
	Эксперт 2 — J_2	f_{21}	a_{22}	...	a_{d2}
	...	...	...	...	...
	Эксперт d — J_d	a_{d1}	a_{d2}	...	a_{dm}
Суммарный ранг важности		r_1	r_2		r_m

Среднее значение для суммарных рангов рассматриваемого ряда

$$\sum_{j=1}^d \alpha_{1j}, \sum_{j=1}^d \alpha_{2j}, \dots, \sum_{j=1}^d \alpha_{dj}$$

равно

$$\alpha = \frac{1}{2}d(m+1).$$

Суммарное квадратичное отклонение суммарных оценок важности от среднего значения α есть

$$S = \sum_{j=1}^m \left\{ \sum_{i=1}^d \alpha_{ij} - \frac{1}{2}d(m+1) \right\}^2.$$

Величина S достигает максимального значения в случае, если все d экспертов дадут одинаковые оценки каждой альтернативе выбора Y_i .

Тогда рассматриваемый ряд суммарных рангов будет иметь вид $d, 2d, \dots, md$.

Вычтем из этого ряда среднее значение:

$$\alpha = \frac{1}{2}d(m+1); \frac{1}{2}d(1-m); \frac{1}{2}d(3-m); \dots, \frac{1}{2}d(m-1).$$

Сумма квадратов этого ряда:

$$S_{\max} = \frac{1}{12}d^2(m^3 - m).$$

Находим отношение суммарного квадратичного отклонения к сумме квадратов этого ряда, которое может определять степень согласованности экспертов при оценивании:

$$E = \frac{S}{S_{\max}} = \frac{\sum_{j=1}^m \left\{ \sum_{i=1}^d \alpha_{ij} - \frac{1}{2}d(m+1) \right\}^2}{\frac{1}{12}md(m^2 - 1)}.$$

Очевидно, что в качестве меры согласованности экспертов можно принять отношение, называемое коэффициентом конкордации. Величина E изменяется в пределах от 0 до 1. При $E = 0$ согласованности совершенно нет, т. е. связь между оценками различных экспертов отсутствует. Наоборот, при $E = 1$ согласованность мнений экспертов полная.

В случае когда возможны совпадения оценок экспертов, т. е. существует совпадение рангов, формула для вычисления коэффициента конкордации имеет вид

$$E = \frac{S}{S_{\max}} = \frac{\sum_{j=1}^m \left\{ \sum_{i=1}^d \alpha_{ij} - \frac{1}{2}d(m+1) \right\}^2}{\frac{1}{12}md(m^2 - 1) - d \sum_{j=1}^d T_j},$$

где

$$T_j = \frac{1}{12} \sum_k^d (t_j^3 - t_j),$$

t_j — число повторений каждого ранга; k_j — число повторяющихся рангов в j -м ряду.

Когда ранги повторяются, то для получения нормальной ранжировки, имеющей среднее значение ранга, равное:

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot d(m+1),$$

необходимо приписать альтернативам, имеющим одинаковые ранги, ранг, равный среднему значению мест, которые они поделили между собой.

Например, получена следующая ранжировка оценок альтернатив экспертами:

Альтернативы Y_i	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
Ранги α_i	1	2	3	3	2	3

Здесь, варианты 2 и 5 поделили между собой второе и третье места. Значит, им приписывается ранг

$$\alpha_2 = \alpha_5 = \frac{2+3}{2} = 2,5.$$

Событиям 3, 4 и 6, поделившим между собой четвертое, пятое, шестое места приписывается ранг, равный 5:

$$\alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_6 = \frac{4+5+6}{3} = 5.$$

Тогда скорректированная ранжировка альтернатив будет следующей:

Альтернативы Y_i	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
Ранги α_i	1	2,5	5	5	2,5	5

Пример 17.1. Рассмотрим оценку в виде ранжирования альтернатив ($m = 10$), которые проводит экспертная группа из 3 экспертов ($d = 3$). Пусть результаты расчетов представлены в табл. 17.3.

Получили следующие промежуточные параметры решения задачи:

средний ранг $\alpha = 16,5$;

общая сумма рангов $S = 591$;

$$T_{J_1} = (1/12) \times 2(2^3 - 2) = 1;$$

$$T_{J_2} = (1/12) \times 3(2^3 - 2) = 1,5;$$

$$T_{J_3} = (1/12) \times \{(4^3 - 4) + (3^3 - 3)\} = 7.$$

Тогда коэффициент конкордации определим как

$$E = \frac{591}{\frac{1}{2}[3^2 \times (10^3 - 10) - 3 \times (1 + 1,5 + 7)]} = 0,8277.$$

Таблица 17.3. Скорректированная таблица расчета промежуточных показателей для вычисления коэффициента конкордации

Группа экспертов, $G = \{J_1, J_2, J_3\}$		Альтернативы										
		Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	
Оценки экспертов	Эксперт 1 – J_1	1	4,5	2	4,5	3	7,5	6	9	7,5	10	
	Эксперт 2 – J_2	2,5	1	2,5	4,5	4,5	8	9	6,5	10	6,5	
	Эксперт 3 – J_3	2	1	4,5	4,5	4,5	4,5	8	8	8	10	$\alpha_{\text{ср}}$
Промежуточные показатели	Сумма рангов, α	5,5	6,5	9	13,5	12	20	23	23,5	25,5	26,5	16,5
	$\alpha - \alpha_{\text{ср}}$	-11	-10	-7,5	-3	-4,5	3,5	6,5	7	9	10	Сумма
	Сумма, S	121	100	56,25	9	20,25	12,25	42,25	49	81	100	591

Если $E = 0$, то согласованности в оценках нет, поэтому для получения достоверных оценок следует уточнить исходные данные о событиях и (либо) изменить состав группы экспертов. При $E = 1$ далеко не всегда можно считать полученные оценки объективными, поскольку иногда оказывается, что все члены экспертной группы заранее сговорились, защищая свои общие интересы. Необходимо, чтобы найденное значение E было больше заданного порогового значения $E_{\text{пр}}$ ($E > E_{\text{пр}}$). Можно принять $E_{\text{пр}} = 0,5$, т. е. при $E > 0,5$ действия экспертов в большей степени согласованы, чем не согласованы. При $E < 0,5$ полученные оценки нельзя считать достоверными, и поэтому следует повторить опрос заново. Полученное значение $E = 0,828$ по задаче говорит о высокой степени согласованности мнений экспертов в группе.

17.2. Пример решения задачи типа GA

Пример 17.2. Для решения проблемной ситуации были определены 6 целей (критериев эффективности выбора решения) и множество допустимых решений, состоящих из 4 альтернатив, удовлетворяющих существующим по задаче ограничениям. Определены значения функции полезности по каждой альтернативе в разрезе критериев, уровень которых сформулирован в соответствии с прямой зависимостью по предпочтениям критериальных параметров. Количество экспертов 3.

Задачу решает *индивидуально каждый* из экспертов в несколько шагов при различных условиях оценки важности самих экспертов. Приведем методику решения одного из экспертов:

1. В *первом случае* считаем, что эксперты имеют равные значения важности и среди них не выделен наиболее важный эксперт.

1.1. На *первом шаге* данный эксперт построит матрицу представления задачи (табл. 17.4).

Таблица 17.4. Матрица представления задачи

Альтернативы	Целевые критерии					
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
Y_1	2	1	4	4	3	3
Y_2	1	2	2	2	4	2
Y_3	3	3	1	1	1	1
Y_4	4	4	3	3	2	4

1.2. На *втором шаге* для каждого из множества критериев $\{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6\}$ построим матрицы парных сравнений на основании значений функций полезности (табл. 17.5–17.10).

Таблица 17.5. Сравнение альтернатив по критерию k_1

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	0	1	1
Y_2	1	1	1	1
Y_3	0	0	1	1
Y_4	0	0	0	1

Таблица 17.6. Сравнение альтернатив по критерию k_2

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	1	1	1
Y_2	0	1	1	1
Y_3	0	0	1	1
Y_4	0	0	0	1

Таблица 17.7. Сравнение альтернатив по критерию k_3

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	0	0	0
Y_2	1	1	0	1
Y_3	1	1	1	1
Y_4	1	0	0	1

Таблица 17.8. Сравнение альтернатив по критерию k_4

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	0	0	0
Y_2	1	1	0	1
Y_3	1	1	1	1
Y_4	1	0	0	1

Таблица 17.9. Сравнение альтернатив по критерию k_5

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	1	0	0
Y_2	0	1	0	0
Y_3	1	1	1	1
Y_4	1	1	0	1

Таблица 17.10. Сравнение альтернатив по критерию k_6

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	0	0	1
Y_2	1	1	0	1
Y_3	1	1	1	1
Y_4	0	0	0	1

1.3. На *третьем шаге* для полученных матриц вычисляется результирующая матрица, элемент которой равен сумме однородных элементов матриц парного

сравнения. Элемент результирующей матрицы α вычисляется по следующему соотношению:

$$\sum_{S=1}^d f_{ij}^S = \alpha_{ij}.$$

Поэлементное вычисление дают следующие значения результирующей матрицы:

$$\begin{aligned}\alpha_{11} &= \alpha_{11} | k_1 + \alpha_{11} | k_2 + \alpha_{11} | k_3 + \alpha_{11} | k_4 + \alpha_{11} | k_5 + \alpha_{11} | k_6; \\ \alpha_{12} &= \alpha_{12} | k_1 + \alpha_{12} | k_2 + \alpha_{12} | k_3 + \alpha_{12} | k_4 + \alpha_{12} | k_5 + \alpha_{12} | k_6; \\ \alpha_{13} &= \alpha_{13} | k_1 + \alpha_{13} | k_2 + \alpha_{13} | k_3 + \alpha_{13} | k_4 + \alpha_{13} | k_5 + \alpha_{13} | k_6; \\ \alpha_{14} &= \alpha_{13} | k_1 + \alpha_{14} | k_2 + \alpha_{14} | k_3 + \alpha_{14} | k_4 + \alpha_{14} | k_5 + \alpha_{14} | k_6; \\ &\dots \\ \alpha_{44} &= \alpha_{44} | k_1 + \alpha_{44} | k_2 + \alpha_{44} | k_3 + \alpha_{44} | k_4 + \alpha_{44} | k_5 + \alpha_{44} | k_6.\end{aligned}$$

Переходя к расчетам по значениям матриц парных сравнений, получим:

$$\alpha_{11} = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 6;$$

$$\alpha_{12} = 0 + 1 + 0 + 0 + 1 + 0 = 2;$$

...

$$\alpha_{44} = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 6.$$

Полученные на этом шаге результаты расчета занесем в матрицу следующего вида (табл. 17.11).

Таблица 17.11. Результирующая матрица

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	6	2	2	3
Y_2	4	6	2	5
Y_3	4	4	6	6
Y_4	3	1	0	6

1.4. На *четвертом шаге* строим результирующую матрицу, используя правило следующего вида:

$$f_{ij}^* = \begin{cases} 1, & \text{если } \alpha_{ij} \geq \frac{d}{2} \\ 0, & \text{если иначе} \end{cases}. \quad (17.1)$$

Для этого по каждому элементу матрицы (табл. 17.11) проводим анализ вычисленного значения функции полезности по приведенному правилу (17.1): если значение более чем 3 (порог, вычисляемый как половина от общего количества экспертов в группе, т. е. $3 = 6/2$, где $d = 6$), то в соответствующей ячейке матрицы ставим 1, иначе — 0. Для строк и столбцов полученной матрицы-медианы подсчитаем сумму баллов (голосов) и выделим их в отдельные строку и столбец. На основании вычислений строим матрицу-медиану, табл. 17.12.

Таблица 17.12. Результирующая матрица-медиана

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Σ
Y_1	1	0	0	1	2
Y_2	1	1	0	1	3
Y_3	1	1	1	1	4
Y_4	1	0	0	1	2
Σ	4	2	1	4	11

1.5. На *пятом шаге* проводим упорядочение альтернатив на основании рассчитываемых коэффициентов важности α .

Для этого на основании полученной результирующей матрицы-медианы вычисляются коэффициенты, равные отношению суммы значений функции полезности (баллов) в строке матрицы-медианы к общему числу баллов (т. е. определяется относительное большинство голосов каждого решения). Тем самым вычисляется величина коэффициента α по соотношению

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^m f_{ij}^*}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij}}.$$

Рассчитываем значения коэффициента α по альтернативам:

$$\alpha_1 = 2/11; \alpha_2 = 3/11; \alpha_3 = 4/11; \alpha_4 = 2/11$$

и заносим их в матрицу-медиану (табл. 17.13).

Таблица 17.13. Матрица-медиана с коэффициентом важности

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Σ	α
Y_1	1	0	0	1	2	$= 2/11 = 0,182$
Y_2	1	1	0	1	3	$= 3/11 = 0,273$
Y_3	1	1	1	1	4	$= 4/11 = 0,364$
Y_4	1	0	0	1	2	$= 2/11 = 0,182$
Σ	4	2	1	4	11	

Упорядочивая значения α по приоритету, получаем ранжировку альтернатив по предпочтениям. На основании значений коэффициентов α получим ранжированные предпочтения альтернатив решений следующего вида:

$$Y_3 \succ Y_2 \succ Y_1 \approx Y_4.$$

Таким образом, при данных условиях для данного эксперта, например J_r , более рациональным является вариант решения, описываемый альтернативой Y_3 .

Второй и третий эксперты также выделили наиболее рациональные, с их точек зрения, варианты решения.

1.6. На *шестом шаге* выбираем принцип группового согласования и проводим собственно выбор рационального по группе экспертов решения.

Пусть результаты решения по каждому эксперту соответствуют тем, которые отражены в табл. 17.14.

Таблица 17.14. Матрица экспертного опроса

Эксперт из группового ЛПР	J_1	J_2	J_3
Наилучшее решение	Y_3	Y_3	Y_2

Выбирая самый простой принцип простого большинства голосов, получим, что за альтернативу Y_3 проголосовало 2 эксперта, т. е. большинство из группы в 3 человека.

Если же данным методом не выделено рациональное решение, например получена табл. 17.15,

Таблица 17.15. Матрица экспертного опроса

Эксперт из группового ЛПР	J_1	J_2	J_3
Наилучшее решение	Y_3	Y_1	Y_2

то в этом случае возможно использование способа решения, учитывающего важность эксперта в группе и его влияние на процесс выбора.

2. Во *втором случае* (с учетом важности экспертов) считаем, что для каждого эксперта можно сопоставить некоторый коэффициент, значение которого определяет степень важности эксперта среди группы экспертов. То есть имеет место вектор коэффициентов важности экспертов, приведенный в табл. 17.16.

Таблица 17.16. Матрица важности экспертов из группы

ЛПР-эксперт	J_1	J_2	J_3
Важность эксперта	0,5	0,2	0,3

В этом случае процесс решения (шаги процедуры решения 1.1–1.5) повторяются для каждого эксперта отдельно.

На *шестом шаге* получаем результаты решения по каждому эксперту, которые соответствуют тем, что отражены в табл. 17.17.

Таблица 17.17. Матрица экспертного опроса

Эксперт из группового ЛПР	J_1	J_2	J_3
Важность эксперта	0,5	0,2	0,3
Наилучшее решение	Y_3	Y_3	Y_2

Тогда, выбирая тот же принцип простого большинства голосов, получим, что за альтернативу Y_3 проголосовало по 1 эксперту, но, ранжируя альтернативы по важности сформулировавших их экспертов ($J_1 > J_2 > J_3$), получим, что наиболее важному эксперту соответствует сформулированное решение Y_3 .

3. В *третьем случае* считаем, что эксперты имеют равные степени по важности, но критериальным признакам можно поставить в соответствие весовые коэффициенты, отражающие важность критерия в оценке выбора альтернативы, например, пусть определили такие значения: $b_1 = 0,3$; $b_2 = 0,2$; $b_3 = 0,15$; $b_4 = 0,1$; $b_5 = 0,1$; $b_6 = 0,15$. Тогда исходную табл. 17.4 перепишем в виде (табл. 17.18):

Таблица 17.18. Исходная матрица с весами целевых критериев

Альтернативы	Целевые критерии					
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
Y_1	2	1	4	4	3	3
Y_2	1	2	2	2	4	2
Y_3	3	3	1	1	1	1
Y_4	4	4	3	3	2	4
Вес критерия, w	0,3	0,2	0,15	0,1	0,1	0,15

В этом случае процедура поиска рационального решения будет следующей. Решение начинаем с шага 3.

Шаг три. Построим результирующую матрицу по формуле вычисления b_{ij} с учетом коэффициентов b :

$$\sum_{s=1}^d \beta_s \cdot f_{ij}^s = \alpha_{ij}.$$

Подставим значения в данную формулу. Поэлементные вычисления дают следующие значения результирующей матрицы:

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= \beta_1 * \alpha_{11} | k_1 + \beta_2 * \alpha_{11} | k_2 + \beta_3 * \alpha_{11} | k_3 + \beta_4 * \alpha_{11} | k_4 + \beta_5 * \alpha_{11} | k_5 + \beta_6 * \alpha_{11} | k_6; \\ \alpha_{12} &= \beta_1 * \alpha_{12} | k_1 + \beta_2 * \alpha_{12} | k_2 + \beta_3 * \alpha_{12} | k_3 + \beta_4 * \alpha_{12} | k_4 + \beta_5 * \alpha_{12} | k_5 + \beta_6 * \alpha_{12} | k_6; \\ \alpha_{13} &= \beta_1 * \alpha_{13} | k_1 + \beta_2 * \alpha_{13} | k_2 + \beta_3 * \alpha_{13} | k_3 + \beta_4 * \alpha_{13} | k_4 + \beta_5 * \alpha_{13} | k_5 + \beta_6 * \alpha_{13} | k_6; \\ \alpha_{14} &= \beta_1 * \alpha_{13} | k_1 + \beta_2 * \alpha_{14} | k_2 + \beta_3 * \alpha_{14} | k_3 + \beta_4 * \alpha_{14} | k_4 + \beta_5 * \alpha_{14} | k_5 + \beta_6 * \alpha_{14} | k_6; \\ &\dots \\ \alpha_{44} &= \beta_1 * \alpha_{44} | k_1 + \beta_2 * \alpha_{44} | k_2 + \beta_3 * \alpha_{44} | k_3 + \beta_4 * \alpha_{44} | k_4 + \beta_5 * \alpha_{44} | k_5 + \beta_6 * \alpha_{44} | k_6. \end{aligned}$$

Переходя к расчетам по значениям матриц парных сравнений, получим:

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= 0,3*1 + 0,2*1 + 0,15*1 + 0,1*1 + 0,1*1 + 0,15*1 = 1,0; \\ \alpha_{12} &= 0,3*0 + 0,2*1 + 0,15*0 + 0,1*0 + 0,1*1 + 0,15*0 = 0,3; \\ &\dots \\ \alpha_{41} &= 0,3*0 + 0,2*0 + 0,15*1 + 0,1*1 + 0,1*1 + 0,15*0 = 0,35; \\ &\dots \\ \alpha_{44} &= 0,3*1 + 0,2*1 + 0,15*1 + 0,1*1 + 0,1*1 + 0,15*1 = 1. \end{aligned}$$

Полученные данные расчета занесем в результирующую взвешенную матрицу (табл. 17.19).

Таблица 17.19. Результирующая взвешенная матрица

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	0,3	0,5	0,65
Y_2	0,7	1	0,5	0,9
Y_3	0,5	0,5	1	1
Y_4	0,35	0,1	0	1

На *четвертом шаге* строим результирующую матрицу-медиану по формуле, учитывающей то, что функции полезности имеют максимальное значение, равное 1, тогда:

$$f_{ij}^* = \begin{cases} 1, & \text{если } b_{ij} \geq \frac{1}{2} \\ 0, & \text{если иначе} \end{cases}.$$

Данные расчетов представлены в табл. 17.20.

Таблица 17.20. Расчет взвешенных элементов матрицы-медианы

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Y_1	1	0	1	1
Y_2	1	1	1	1
Y_3	1	1	1	1
Y_4	0	0	0	1

Для строк и столбцов полученной матрицы-медианы подсчитаем сумму значений функции полезности и выделим их в отдельные элементы.

На основании вычислений строим табл. 17.21.

На *пятом шаге* с учетом суммы значений функции полезности определяем коэффициент α_i и заносим в табл. 17.21 в графу « α ». Имеем следующие вычисленные значения:

$$\alpha_1 = 3/12 = 0,250; \alpha_2 = 4/12 = 0,333; \alpha_3 = 4/12 = 0,333; \alpha_4 = 1/12 = 0,083.$$

Таблица 17.21. Расчет элементов матрицы-медианы

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Σ	α
Y_1	1	0	1	1	3	0,250
Y_2	1	1	1	1	4	0,333
Y_3	1	1	1	1	4	0,333
Y_4	0	0	0	1	1	0,083
Σ	3	2	3	4	12	

На основании значений коэффициентов α_i строим предпочтения:

$$Y_2 \approx Y_3 \succ Y_1 \succ Y_4.$$

Таким образом, без учета коэффициентов важности целей имеем предпочтение типа: $Y_3 \succ Y_2 \succ Y_1 \approx Y_4$. В качестве эффективного решения выбирается $Y^* \rightarrow Y_3$.

С учетом важности целевых критериев получим следующие предпочтения: $Y_2 \approx Y_3 \succ Y_1 \succ Y_4$. В качестве эффективного решения выбирается $Y^* \rightarrow Y_3 \approx Y_2$.

На *шестом шаге* выбираем принцип группового согласования и проводим собственно выбор рационального по группе экспертов решения.

Пусть результаты решения по каждому эксперту соответствуют тем, которые отражены в табл. 17.22.

Таблица 17.22. Матрица экспертного опроса

Эксперт из группового ЛПР	J_1	J_2	J_3
Наилучшее решение	Y_2	Y_3	Y_2

Выбирая самый простой принцип простого большинства голосов, получим, что за альтернативу Y_2 проголосовали 2 эксперта, т. е. большинство из группы в 3 человека.

Если же данным методом не выделено рациональное решение, то следует выделить самого важного эксперта из группы, мнение которого может быть взято как наиболее рациональное, или следует выбрать иной принцип группового согласования (табл. 17.23).

Таблица 17.23. Оценки степени важности эксперта

Субъективная оценка h_0							Субъективная оценка h_c		
занимаемая должность	баллы	уровень образования	баллы	общий стаж работы	баллы	стаж работы по проблеме	баллы	степень участие в решении данной проблемы	баллы
Руководитель организации	10	Д. э. н.	6	Более 10	10	Более 10 лет	10	Эксперт специализируется по данному вопросу	10
Заместитель руководителя	8	К. э. н.	4	От 10 до 5	8	От 10 до 5 лет	8	Эксперт участвует в практическом решении данного вопроса, но он не входит в сферу его узкой специализации	8
Руководитель подразделения	6	Высшее образование	2	Менее 5 лет	6	Менее 5 лет	6	Вопрос входит в сферу тесно связанного с его узкой специализацией направления	6
Заместитель руководителя подразделения	4							Вопрос не входит в сферу тесно связанного с его узкой специализацией направления	3

Раздел 6. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Современный этап развития экономических систем, функционирующих в сложных социально-экономических условиях становления рыночных отношений, предъявляет повышенные требования к обоснованности и качеству управленческих процедур, включающих как мониторинг, так и непосредственное принятие решений. При этом резко возрастает круг вопросов, входящих в сферу деятельности аппарата организационного управления экономическими объектами. Однако с увеличением круга решаемых задач (расширением проблемной области) значительно возрастают информационные потоки, что требует разработки адекватных процедур автоматизированной поддержки процессов управления на всех основных этапах, начиная с момента анализа проблемной ситуации и заканчивая оптимальным выбором сформулированных вариантов решений.

В этих условиях особенно остро стоит вопрос создания развитых технологий поддержки процедур управления и принятия решений (ПУПР) на различных уровнях: информационном и модельном обеспечении на уровне экспертной поддержки в виде информационных интеллектуальных систем для предоставления руководителю необходимых знаний и процедур их неформализованной обработки.

Все большее распространение получают комплексные системы, позволяющие соединять возможности простых информационных систем и систем моделирования и проведения автоматизированной экспертной оценки, используя при этом единый информационный фонд с различными методами представления и описания информации. Такие системы в современной литературе носят название систем поддержки принятия решений (СППР). Однако как правило, они ориентированы не на все этапы организационного управления, а поддерживают в основном конечный этап этой процедуры, а именно процесс принятия решений. При этом остаются без внимания такие важные этапы, как информационное и модельное обеспечение (непрерывное информационное сопровождение), процедуры формирования и поддержки в актуальном состоянии информационного фонда системы, процедуры фильтрации входного информационного потока и многие другие.

В настоящий момент отсутствует единая технология проектирования многоуровневых систем поддержки ПУПР, ориентированных на работу в меняющемся функциональном пространстве и ведущих к достижению наилучших экономических показателей.

Существующая технология управления и принятия управленческих решений с использованием типовых автоматизированных информационных систем дает возможность только подготовки необходимой информации для решения, но не позволяет разрабатывать альтернативы решения и моделировать сам процесс выбора и оценки вариантов, просчитывать их эффективность. Это связано как с отсутствием практических систем, отвечающих требованиям всех этапов управленческой технологии, так и с неразработанностью теоретических вопросов по структуре и функциональному наполнению информационных систем, которые можно использовать в качестве средства поддержки процедур управления и принятия решений.

В этой связи в разделе рассматриваются аспекты, связанные с исследованием механизмов поддержки управленческих процедур и методологией их использования на тех или иных этапах процесса управления и принятия решений.

Рассматривается многоэтапная концепция поддержки на базе информационного обеспечения, обеспечения моделями и необходимыми знаниями и правилами в предметной области лица, принимающего решения. Даются основные положения из теории принятия решений, информационных систем поддержки, процедур моделирования и анализа, описываются структура и процедуры работы отдельных модулей интегрированной системы поддержки, представление информации в ней и технология функционирования.

Глава 18. КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

18.1. Требования и назначение систем поддержки процессов принятия решений

В последние годы сформировалось новое направление в области автоматизации управленческого труда — это использование автоматизированных систем, базирующихся на информационных технологиях и ориентированных на поддержку всего комплекса операций процедуры принятия решений (системы поддержки принятия решений), в которых объединяют автоматизированную поддержку процедур принятия решений на различных стадиях: анализ и оценка проблемной ситуации, исследования структуры проблемы и выявление условий и ограничений, генерация альтернатив, выбор критериев эффективности и организация экспертизы, обоснование оптимального решения и оценка эффективности его реализации. Такие информационные технологии и системы являются важным инструментом для увеличения эффективности процессов управления.

В этой связи все большее распространение получают комплексные информационные системы, позволяющие наравне с простейшими процедурами об-

работки информации проводить выбор альтернатив решения, моделировать и прогнозировать результаты реализации альтернатив и вести корректировку отдельных этапов принятия решения. Такие системы носят название системы поддержки принятия решений (СППР) и применяются в наиболее сложных и ответственных отраслях и сферах управленческой деятельности — процессах принятия сложноорганизованных решений.

Однако достаточно часто системы поддержки принятия решения ориентированы, как правило, не на все этапы процесса организационного управления, а поддерживают в основном конечный этап управления, а именно процесс принятия решений. При этом остаются без внимания такие важные этапы, как информационное и модельное обеспечение (непрерывное информационное сопровождение) процессов принятия решения, поддержка в актуальном состоянии информационного обеспечения анализа и оценки проблемной ситуации и пр.

С другой стороны, в процессе функционирования экономической системы происходит периодическое изменение целей, процессов, ресурсов, требований к системе и др., поэтому сам процесс поддержки всех этапов управления и особенно принятия решения должен быть **непрерывным**.

Таким образом, система поддержки процессов управления и принятия решений (СППУПР) в общем случае должна обеспечивать не только непрерывную поддержку процессов на разных уровнях управления, но и последовательность цепочки: **цели—функции—задачи**, обеспечивая поддержку процессов управления, начиная с момента возникновения проблемной ситуации (получение и наблюдение за уровнем и отклонениями диагностических параметров) и заканчивая этапом контроля и мониторинга реализации выбранной альтернативы.

Проектирование и разработка таких систем ППУПР возможны лишь при едином технологическом подходе к составляющим компонентам поддержки всех основных процедур организационного управления и принятия решений. При этом необходимо принять во внимание, что в современных условиях экономическая система и соответственно система организационного управления ею постоянно изменяются с точки зрения функционального набора задач управления при поиске устойчивых критериев функционирования.

Таким образом, с точки зрения содержания процедур и функций обеспечения управления для СППР можно выделить в ее структуре следующие ведущие модули:

- организационно-распорядительных операций;
- информационной поддержки (формально-логической обработки, анализа, обобщения, самообучения);
- ассоциативных (типовых) управленческих ситуаций;
- взаимодействия с ЛПР;
- экспертный — для генерации и оценки альтернатив управленческих решений.

Исходя из основной цели функционирования системы поддержки процессов управления и принятия решений рассмотрим обобщенную модель функционирования такой системы. В качестве инструментального обеспечения такого комплекса целесообразно использовать серверные платформы с набором специализированных модулей, интегрируемых в систему поддержки принятия решений. Такие средства являются инструментальной базой для функционирования системы. Для этого в структуре процедур поддержки требуется наличие следующих элементов:

- информационной составляющей для обеспечения пользователя основными данными;
- составляющей моделирования для обеспечения пользователя аналитическими данными развития экономической системы и его прогнозирования;
- экспертной составляющей для обеспечения пользователей правилами и знаниями формирования дедуктивного вывода и экспертного анализа при выборе эффективных вариантов решения проблемы.

Таким образом, процедуры поддержки ЛПР предполагают наличие соответственно **информационной, модельной и экспертной** компонент СППР.

Кратко рассмотрим назначение представленных подсистем.

Система *информационной поддержки* (СИП) используется на этапе исследования и оценки проблемной ситуации и предполагает непрерывное оперативное информационное обеспечение процессов управления и принятия решений.

Рассматривая структуру и функциональное назначение компонентов интегрированной системы поддержки, можно определить, что модуль (система) информационной поддержки (СИП) предусматривает непрерывное оперативное информационное обеспечение процедур управления и принятия решений. Основной функцией этого компонента является формирование у пользователя некоторого информационного образа проблемной ситуации, адекватного реально протекающим в экономическом объекте событиям и процессам. При этом информация отбирается как из собственной информационной базы, так и из других информационных источников.

Адекватность формируемого образа в немалой степени зависит от качества используемой информации и процедур формирования информационного фонда. Функции информационной поддержки сводятся к обеспечению простыми (неструктурированными, фактическими, первичными) данными и данными различной степени сжатия.

Процедуры манипулирования с первым типом должны обеспечивать следующие возможности:

- составление комбинаций данных, получаемых из различных источников;
- быстрое добавление или исключение того или иного источника данных и автоматическое переключение источников при поиске и выборе необходимого источника данных;

- управление данными при помощи функций, предоставляемых системами управления базами данных;
- обеспечение логической независимости данных этого типа от других баз данных, входящих в информационный фонд системы поддержки;
- автоматическое отслеживание качества потока информации для наполнения баз данных.

Информация второго типа представляет собой вторичные, или обработанные, данные, получаемые в результате решения некоторых задач. Наиболее трудными из задач агрегирования и сжатия данных можно считать задачи моделирования (прогнозирование) некоторой проблемной ситуации, в результате решения которых получается семантически сжатая, обобщенная информация достаточно сложной структуры.

Данный компонент формирует информационное описание проблемы, т. е. составляет информационный образ проблемной ситуации, адекватный самой структуре проблемы, выбирая информацию как из собственной информационной базы, так и из других информационных источников, в том числе из интернет-ресурсов. Степень адекватности формируемого образа проблемы в немалой степени зависит как от объемов, новизны, ценности и других свойств информации, которые определяют качество используемой информации, так и от процедур формирования самого информационного фонда системы.

Система модельной поддержки. Некоторые проблемные ситуации, которые возникают в процессе управления предприятием, можно свести к определенным группам типовых проблем, для которых возможно определить типовые модели управления и принятия решений в виде эквивалентных классов управленческих решений, т. е. для них можно сформулировать некоторый типовый набор эффективных альтернатив. В этой связи в системе необходимо выделить отдельный специальный *модуль моделирования* для поддержки пользователя при работе с моделями. Основными функциями модуля обеспечения пользователя экономико-математическими моделями должны быть: возможность работы с типовыми моделями и достаточно быстрой и адекватной интерпретации результатов моделирования, оперативная подготовка и корректировка входных параметров и ограничений модели, возможность графического отображения динамики модели, возможность объяснения пользователю необходимых шагов формирования и работы модели и др.

Если возникающая и оцениваемая проблемная ситуация не ассоциируется ни с одной из существующих в системе групп (кластеров) типовых альтернатив, в работу должна вступать следующая по уровню процедура поддержки принятия управляющих решений, позволяющая привлечь другие принципы формирования адекватного разрешения проблемы.

Система экспертной поддержки. Однако по некоторым проблемным ситуациям могут возникать случаи, когда имеющихся в информационной базе системы данных не хватает для точной оценки проблемы, формирования и построения информационного образа проблемы, генерации вариантов решения или

полученная информация является нечеткой и ее применение для построения информационного образа проблемной ситуации не соответствует требуемому значению точности и адекватности (порога).

В этом случае должен подключаться следующий по уровню механизм поддержки, запускающий систему *экспертной поддержки* для генерации и синтеза возможных альтернатив. Эта подсистема генерирует альтернативы на базе имеющихся в информационном фонде данных, правил преобразования и процедур оценки синтезированных альтернатив.

Итак, в общем случае полная структура системы поддержки процедур управления и принятия решений является многоступенчатой и включает в себя в качестве составных частей следующие подсистемы:

- подсистему информационной поддержки (формирование информационного образа проблемной ситуации);
- подсистему поддержки процедур моделирования (моделирование и прогнозирование проблемной ситуации);
- подсистему экспертной поддержки (хранение и анализ типовых управленческих ситуаций; синтез альтернатив и их оценка).

Подробный анализ указанных процессов приводит к следующим функциям системы поддержки:

- информационной поддержки процессов управления;
- формирования информационного образа проблемной ситуации;
- моделирования и прогнозирования развития ПС;
- генерации альтернатив решения;
- распознавания типовых ситуаций;
- модельной поддержки;
- анализа альтернатив и их оценки.

18.2. Функции систем поддержки процессов принятия решений

Основными функциями системы поддержки процессов управления и принятия решений (ПУПР) являются в конечном счете повышение обоснованности управленческих решений и поддержка ЛПР в формировании процессов управления и принятии управленческих решений. К необходимым условиям обоснованности управленческих решений можно отнести:

- соответствие решений поставленной цели;
- полноту учета всех доступных средств и путей достижения цели;
- реализуемость решений (учет всех реальных взаимосвязей и ограничений, ресурсов, технологий);
- контроль процессов принятия решений на всех этапах.

Эффективность системы поддержки принятия решений обеспечивается за счет следующих факторов:

- быстрого сбора информации (параллельно по всем уровням иерархии) об управляемых процессах, что исключает появление некачественной информации в информационном фонде системы;
- отсутствия искажения информации по уровням управления;
- предоставления прав на обработку информации и принятие управленческих решений в пределах своей компетенции на нижестоящие уровни, что позволяет мгновенно контролировать неопределенность и качество моделей принятия решений;
- снижения неопределенности при анализе и принятии решения за счет четкой координации в системе СППР;
- перехода с дискретного управления к непрерывному, так как доступ к вводу и корректировке БД информационного фонда системы возможен в любое время.

Классификация систем поддержки. В настоящее время существует множество работ, в которых исследуются и разрабатываются автоматизированные системы, используемые для применения в процессе реализации функций управления, и в частности при принятии управленческих решений на высших уровнях иерархии системы управления. Рассмотрим некоторые методы и системы, использующие новые информационные технологии в практике управления. Анализ разработанных систем позволяет ввести некоторую классификацию систем поддержки процессов управления и принятия решений (ПУПР), на базе которой можно будет сформулировать некоторые рекомендации по выбору и применению средств и методов, необходимых для адекватного использования в процессах управления, в соответствии со стадиями и уровнями этапов процесса управления и принятия решений. Такие рекомендации позволят повысить эффективность систем поддержки, используемых в составе системы управления, и перспективного проектирования необходимых элементов систем поддержки.

Процедура модельной поддержки. Если информационный образ проблемной ситуации m_j , полученный на этапе информационной поддержки, требуется уточнить по отдельным параметрам или нужно дополнить его описание, то включается вторая ступень поддержки — поддержка процедур управления моделями развития экономического объекта и анализа проблемной ситуации.

Организация подсистемы моделирования в СППР связана не только с разработкой функциональной структуры самой подсистемы, но и с определением минимально необходимого набора моделей, позволяющих как описать тенденции развития ситуации и альтернатив решения, так и оценить их последствия.

Таким образом, процедура моделирования позволяет более полно охарактеризовать те или иные аспекты экономического объекта, конкретизировать

некоторые параметры, т. е. дополнить информационное обеспечение M для достижения ЛПР цели C по проблемной области R . При этом также формируется банк стандартных ситуаций Y^* на базе полученного уточненного информационного образа m_j , если возникли соответствующие ассоциативные связи.

Процедура экспертной поддержки. Если на множестве допустимых альтернатив $\{Y^*\}$ отсутствует оптимальная стратегия или m_j содержит нечеткую информацию, не позволяющую однозначно сформировать орт y , начинает функционировать третья ступень системы — система экспертной поддержки процессов управления и принятия решений, целями функционирования которой являются синтез альтернатив (гипотез, стратегий) решения, оценка альтернатив и выбор оптимальной.

Генерация альтернатив в модуле экспертной поддержки. Целью этой процедуры является «выращивание» информационного образа ситуации, адекватного самой проблемной ситуации, т. е. синтез такого M_R , которое однозначно определяет $y^* \in B$.

Таким образом, проблемная ситуация R сужается до m_j . Однако направление поиска может задавать как ЛПР, так и система оценки и планирования гипотез. Относительно m_j можем получить другой список $(m'_1 \prec m'_2 \prec \dots \prec m'_N)$, ранжированный по критерию качества.

Из данного списка выбирается m_N с $Q_i = \max Q$, проверяется на противоречивость с ядром, и, если условие непротиворечивости выполняется, массивы объединяются в новое ядро m^* :

$$m^* = \{m_j \cup m'' \mid m'' = m_j \cup m'_N\}.$$

Полученное ядро m^* оценивается в блоке оценки гипотез и, если $Q_2 = Q(m^*) \gg Q$, оно утверждается. В противном случае формируется новая последовательность $\{m_1, m_2, \dots, m_N\}$ в направлении, указанном ЛПР.

В конечном счете первоначальное ядро «выращивается» до

$$m_y^* = \{\cup_t m_i, m_i \mid Q(m_i) = \max_t Q\}.$$

Если оценка m_y^* превышает порог, заданный ЛПР, то принимается $B = m_y^*$ и y^* , соответствующее данному m_y^* , считается оптимальным. При выборе направления поиска в системе формируются дополнительные правила вывода.

В подготовке списка $(m'_1 \prec m'_2 \prec \dots \prec m'_N)$ участвует как база данных системы информационной поддержки, так и дополнительные источники интегрированного информационного фонда системы.

18.3. Технология применения систем поддержки принятия решений

Основное отличие технологии принятия решений с использованием автоматизированных информационных систем от типовых процессов заключается

в возможности получения и анализа дополнительной информации на любом этапе процесса принятия решений. Рассмотрим возможные применения АИС для выполнения конкретных операций в процессах принятия решений. Такая совокупность операций адекватна типовому процессу принятия решений.

На *первом этапе* проводится анализ проблемной ситуации, в частности: изучение причины, возникновение, связи с другими ПС как внутри экономической системы, так и за пределами (во внешней среде). Здесь же решается вопрос о принципиальной возможности разрешения проблемной ситуации в данных ресурсных и временных ограничениях и при данной компетенции ЛПР (при невозможности решения необходимо отказаться от решения).

На *втором и третьем этапе* производится формирование цели в виде целевой функции. Если это возможно, то обычно считают, что половина задачи решена и 50% успеха есть. Однако на практике иногда не удается даже содержательно определить, а тем более количественно измерить степень ее достижения. Поэтому использование системы поддержки на этом этапе позволит декомпозировать глобальную целевую функцию на локальные (простые критерии), которые можно определить количественно.

На *четвертом этапе* формируется полное множество возможных вариантов решения. Здесь возможно использование специальных систем, позволяющих генерировать некоторое множество альтернатив, пусть даже и виртуальных. Здесь могут быть использованы экспертные и прогнозирующие системы и модели и различного типа генераторы альтернатив.

Оценка полученных вариантов по выбранным единичным критериям производится на *пятом этапе*. Для этого применяются системы анализа и оценки альтернатив, хотя применяются они для узкого круга задач и слабо адаптируются к изменяющимся внешним условиям.

На *шестом этапе* производится процедура выбора альтернатив на базе методов многокритериальных решений, причем в качестве эффективного решения может быть выбрано не обязательно оптимальное, а просто предпочтительное для данного ЛПР решение. Если выбранное решение не удовлетворяет, его можно скорректировать в режиме интерактивного взаимодействия с ЛПР. Поэтому такие системы работают в режиме взаимодействия и моделируют различные процедуры выбора.

Ошибки и сбои в процедуре выбора могут возникать из-за следующих причин:

- не учтены важные критерии;
- неполное множество вариантов;
- неадекватность моделей выбора;
- ошибки в оценках вариантов.

Седьмой этап предполагает реализацию выбранного решения. И на этом этапе можно использовать простейшие системы контроллинга.

На *восьмом этапе* производится оценка эффективности выбранного решения и его практической реализации. Это необходимо для обучения и накопли-

вания опыта и формирования библиотеки типовых решений (БТР). Информационные системы, применяемые на данном этапе, должны содержать данные не только о самой экономической системе, но и о внешней среде функционирования. В свою очередь, БТР предполагает формирование ассоциативной связи между проблемной ситуацией, ее структурным описанием, множеством допустимых для данной проблемы альтернатив, выбранным эффективным решением и оценкой этого решения после реализации с характеристиками прогноза развития проблемы.

Схема подготовки информации с использованием информационной системы на каждом цикле процедуры принятия решения приведена на рис. 18.1.

Для сопоставления типа используемой информационной системы характеру решаемых задач и классу обрабатываемой информации приведена табл. 18.1.



Рис. 18.1. Подготовка и принятие решений с использованием ИС

Таблица 18.1. Характерные черты основных видов ИС, используемых для поддержки принятия решений

	СЭОД	ИСУ	СППР	ЭС	ИСМ
Основные приложения	Расчет зарплаты, запасов, хранение записей о производстве и продажах	Контроль производства и продаж, прогнозирование, мониторинг	Долгосрочное стратегическое планирование, финансовое планирование	Диагностика, стратегическое планирование	Исследование окружения фирмы, поддержка высшего руководства
На что делается упор	Передача данных	Получение информации	Принятие решений, гибкость	Выработка рекомендаций, основанных на опыте	Выявление проблем
База данных	Уникальное для каждого приложения	Появление СУБД	Появление базы моделей и СУБМ	Использование знаний, появление СУПЗ	Использование внешних БД
Особенности принятия решений	Автоматизация решаемых задач	Использование стандартных алгоритмов для решения структурированных задач	Принятие решение на основе разработанных альтернатив для слабо-структурированных задач	Решение неструктурированных задач на основе эвристических правил	Решения не принимаются
Вид данных	Численные	Численные	Численные	Символьные	Численные и символьные
Тип информации	Пооперационные данные	Детальные, суммовые и чрезвычайные отчеты	Информация, поддерживающая конкретное решение	Советы и объяснения	Запросы и отчеты. Чрезвычайные отчеты
Обслуживаемый уровень управления	Самый низкий	Средний уровень иерархии управления	Высокий уровень	Высокий уровень управления и специалисты	Только высшее руководство

1. Изучение проблемы. Изучение данных, необходимых для постановки проблемы, обычно включает в себя управление некоторой деятельностью и сопоставлением планируемых и реальных ее результатов либо посредством из получаемых от ИСУ данных, либо с помощью ответов СППР на запросы пользователя. ИСМ специально предназначены для распознавания проблем посредством контроля и предоставления руководству наиболее важной информации. Указанные действия должны производиться профилактически для

выявления проблем на стадии их скрытой эволюции, т. е. еще до того, как они смогут нанести серьезный ущерб организации. Большую помощь на этой стадии могут оказать ЭС путем решения задач диагностики исследуемого объекта или процесса.

2. *Сбор данных.* Как только проблема, требующая решения, найдена, возникает масса вопросов, требующих дополнительных данных. Поскольку оперативное решение проблемы обычно нуждается в немедленных действиях, эта фаза, как правило, не бывает продолжительной. Использование автоматизированных систем для сбора и анализа данных представляется оптимальным. Для ИСМ сбор данных является их прямым назначением. ЭС также могут быть эффективными на стадии сбора данных за счет интерпретации поступающих к менеджерам данных должным образом. Однако главным действующим лицом, обеспечивающим сбор данных, выступает человек.

3. *Разработка возможных альтернатив (путей) решения проблемы.* После окончания сбора данных и полной идентификации проблемы возникает вопрос о том, что же с ней делать. Как известно, для анализа путей решения проблем могут использоваться методы количественного и качественного анализа. Для разработки возможных альтернатив решения в рамках количественного анализа обычно используются аналитические модели, составляющие основу СППР. Часто более успешным методом нахождения путей решения проблем оказывается использование групповых систем поддержки принятия решений, реализующих электронный вариант метода «мозгового штурма». Однако в любом случае использования СППР предполагает участие человека.

Особое место в деле поиска альтернатив решения занимают ЭС, использующие для этого качественно другой метод, связанный с моделированием неуправляемого процесса и человеческих эмпирик опытного и компетентного менеджера.

4. *Оценка предложенных альтернатив.* Целью этой фазы является проверка того, как реализация предложенных альтернатив влияет на существующую систему (фирму). Обычно стараются оценить альтернативы как с позиции достигнутого с их помощью экономического результата, так и с точки зрения привносимого ими риска. Наибольший вклад при оценке альтернатив решения вносят специализированные модели и проблемно-ориентированные пакеты прикладных программ. Особо следует упомянуть статистические модели прогнозирования, модели массового обслуживания и метод статистических испытаний.

Для анализа потоков средств, вызываемых использованием тех или иных альтернатив, целесообразно применение табличных процессоров, обычно входящих в состав СППР. Важную роль при оценке предложенных альтернатив могут играть экспертные системы (ЭС).

5. *Выбор решения.* Поскольку работа компьютера связана с жесткими информационными требованиями, вряд ли следует скоро ожидать замены им человека при принятии решений по плохо структурированным проблемам.

Жизнь всегда оказывается более сложной, чем построенная на ее базе модель. Хотя компьютер и модели могут существенно улучшить принимаемое решение, окончательный его выбор и связанная с ним ответственность пока остаются за человеком.

6. Исполнение выбранного решения. Как только решение принято, оно должно немедленно стать достоянием всей организации. Это может быть быстро сделано при помощи электронной почты, входящей в ТКС, или соответствующих терминалов, формирующих компьютерные сети. Кроме того, должна быть обеспечена возможность контроля результатов или оценки влияния выбранного решения на организацию (обратная связь). Такой контроль обеспечивается центральной ИСУ, генерирующей периодические отчеты об основной деятельности фирмы, в то время как на СППР возлагаются отчеты и запросы специального характера.

7. Контроль и подстройка. Процедура принятия решения представляет собой в общем случае рекурсивную процедуру, а не однократный процесс. Хотя принятое сегодня решение казалось нам рациональным, полученная завтра новая информация может сделать его неприемлемым. Такая ситуация требует возврата на более ранние стадии принятия решения. Так, например, может понадобиться дополнительное изучение проблемы (возврат к первой фазе) или продолжение анализа альтернатив в свете вновь полученной информации (возврат к четвертой фазе).

Таблица 18.2 иллюстрирует роль различных типов ИС на каждой из последовательных фаз принятия решений.

Таблица 18.2. Участие различных типов ИС в процессе принятия решений

Фаза принятия решения	ИСУ	СППР	ИСМ	ЭС
Изучение проблемы	Основная помощь	Дополнительная помощь	Цель использования	Диагностика состояния среды
Сбор данных	Использование СУБД	Дополнительная СУБД	Цель использования	Интерпретация данных
Разработка альтернатив	—	Основная помощь	—	Основная помощь
Выбор решения	—	Частично	—	Частично
Исполнение решения	Использование сети терминалов	Электронная почта	Электронная почта	Использование сети
Контроль и подстройка	Периодические отчеты	Сбор специальных данных	Периодические отчеты	Периодические отчеты

Анализ содержимого таблицы показывает, что главную помощь ЛПР в изучении проблемы и сборе данных оказывают ИСУ и ИСМ. По сути это и явля-

ется основным назначением этих систем, оставляющих все вопросы, связанные с разработкой и оценкой альтернатив, а также с выбором решения, человеку. Системы типа СППР и ЭС обеспечивают большую степень автоматизации процесса принятия решений. При этом ЭС (не предназначенные для изучения проблемы и сбора данных) в ряде случаев оказываются способными частично автоматизировать и сам выбор решения, автоматически отвергая часть предложенных альтернатив.

Глава 19. ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ

Важную роль в решении задач управления экономическими системами в современных условиях играют процедуры принятия решений, которые приобретают все больший вес в управленческих задачах¹. Широкие возможности, предоставляемые экономическим объектам в сфере производства и бизнеса, требуют тщательного анализа и обоснования принимаемых управленческих решений. Поэтому в последнее время резко повысился интерес к таким системам, которые могли бы моделировать опыт и индуктивно-дедуктивный характер экспертов-специалистов в решении различного рода сложных проблемных ситуаций, возникающих на экономическом объекте.

Системы, базирующиеся на манипулировании знаний с возможностями дедуктивного вывода и анализа, носят название экспертных систем (ЭС)². Концепция экспертных систем служит логическим продолжением органического развития, с одной стороны, традиционных методов принятия решений с помощью группы экспертов, с другой — применения концепции систем поддержки принятия решения, позволяющих манипулировать большими массивами информации, моделями развития проблемы и знаниями экспертов.

Сама технология «вложения» знаний в систему ориентирована на использование специальных методов и приемов выявления знаний экспертов и их формализованного представления в системе. Суть концепции экспертных систем заключается в перенесении основного акцента с информационных и формально-логических аспектов управления на собственно обоснование процесса принятия решений в части трудноформализуемых процессов принятия решения.

Экспертная система — это совокупность программно-технологических средств, включающих знания специалистов о некоторой проблемной области, в пределах которой у ЛПР возникает возможность для оценки, обоснования и принятия эффективных управленческих решений.

Обозначение системы как экспертной основывается на использовании для принятия решения совокупности уже обработанных данных в виде некоторого результативного мнения или правил, получаемых либо «вручную» от экспертов, являющихся признанными специалистами в конкретной проблемной области, либо автоматизированно с помощью специализированных интеллектуальных информационных систем, генерирующих правила (знания) в форме,

¹ Панфилов С. А., Афоничкин А. И. Методы и средства автоматизированной оценки показателей в системе менеджмента качества.

² Методы и системы принятия решений: Интеллектуальные системы принятия решений: Сб. науч. тр. — Рига: РПИ, 1987. 143 с.

непосредственно используемой в системе. Применение таких экспертных процедур возникает из-за ограничений информационного характера, существующих в исследуемой прикладной области. Экспертная система задает вопросы и, получая от пользователя ответы, адаптирует генерируемые гипотезы с учетом этих ответов. Она может продолжать свою работу до тех пор, пока у нее не останется вопросов. Когда в системе складывается ощущение достаточно хорошего понимания ситуации, предлагается еще короткая цепочка уточняющих вопросов, подготавливающих рекомендации. Наконец, ЭС дает свою интерпретацию ситуации и рекомендации по решаемой проблеме.

Целью ЭС является принятие совокупности формальных и эвристических знаний от специалистов-экспертов в данной предметной области, а затем использование полученных знаний при решении тех проблем, с которыми обычно сталкиваются другие специалисты. ЭС обеспечивают консультации и поднятие профессионального уровня специалистов, занятых в тех областях человеческой деятельности, в которых пока еще невысок уровень формализации накопленных знаний.

Рассмотрим назначение экспертной системы в такой области человеческой деятельности, как управление. Базовая экспертная система дополняется комплексом систем консультирующего типа, ориентированных на обеспечение руководства информацией о законодательных, нормативных актах и инструктивной документации, существующей на данный момент времени в каждой конкретной области управления. Системы такого типа должны уметь устанавливать соответствие между сходными понятиями, получающими разные наименования в документах, выпускаемых различными ведомствами, а также отслеживать связь событий в ходе реального процесса управления.

Наряду с базовой экспертной системой, предназначенной для использования руководителями функциональных служб, для первых руководителей при подготовке сложных, часто уникальных, решений необходима помощь другой специализированной системы, задачей которой является поиск аналогов среди ситуаций управления — формирование и ведение базы типовых управленческих ситуаций. Это позволяет заранее предвидеть возможные трудности и проблемы, связанные с применением того или иного решения, получить качественную оценку ситуации и вариантов, помогает подготовить и задействовать резервные средства и рычаги управления.

Роль ЭС становится решающей при введении различных изменений в функционировании организации, например при смене руководства. Выступая по существу материализацией технологии управления, экспертная система рассматриваемого типа позволяет сократить практически до нуля период освоения новым руководством процесса управления организацией. Не менее важна возможность обеспечения защиты от попыток механического перенесения руководством привычных форм и методов управления на новую систему. Каждое предполагаемое нововведение можно предварительно рассматривать в рамках экспертной системы, используемой в данном режиме в качестве отладочного

и испытательного стенда: система сообщает последствия тех или иных действий, а также указывает на элементы процесса управления, затрачиваемые предполагаемым нововведением.

Высшей ступенью развития экспертной системы в области управления служит разработка интеллектуальных комплексов, поддерживающих эффективное решение широкого комплекса управленческих задач. На этом этапе главными задачами становятся освоение передового опыта и разработка принципов эффективного управления. Наличие руководителей, которые независимо от конкретной области приложения лучше других выполняют функции, связанные с управлением, делает привлекательными выявление и тиражирование их навыков и знаний.

19.1. Особенности, характеристики и реализация экспертных систем

Основное отличие экспертных систем от обычных программ принятия решений состоит в том, что ЭС манипулирует знаниями, а программы — данными. Понятие «знание» включает информацию о типе данных и отдельные правила их преобразования, делающие систему «интеллектуальной». Эта информация принимает форму фактов или правил, не всегда четко определенных. В этой связи их нельзя формализовать в виде дискретного алгоритма. Причем знания организованы таким образом, чтобы можно было выделить знания разной мощности (общие знания, метазнания, знания о предметной области и др.).

Основу ЭС составляет база знаний, которые накапливаются в процессе ее построения. Знания выражены в декларативном виде и организованы так, чтобы обеспечивать их эффективное использование. Накопление знаний в базах знаний — одна из важных характеристик экспертной системы, что делает их весьма доступными. Использование БЗ подкрепляется ценным опытом наиболее квалифицированных экспертов.

Другой отличительной чертой ЭС является возможность прогнозирования ситуации, т. е. наличие прогностических возможностей. Это позволит пользователю оценить влияние новых факторов на выбор принимаемого решения. Работа ЭС с квалифицированными экспертами обеспечит хранение их опыта, использование и постоянное обновление наилучших стратегий и методов.

Способность ЭС объяснять ход своих действий целесообразно применять в учебном процессе для обучения и тренировки навыков будущих специалистов. Для этого необходимо включить в ЭС комплекс средств, охватывающих дидактические аспекты любой обучающей системы.

Центральными задачами, которые целесообразно решать с помощью экспертных систем в экономике, являются: информационно-справочная служба ответственных руководителей, построение моделей ситуаций, имитация последствий управленческих решений, прогнозирование тенденций развития, анализ ресурсов.

В общем случае структура экспертной системы включает: лингвистический процессор для проблемно-ориентированной коммуникации между пользователем и экспертной системой; «доску объявлений» для регистрации промежуточных ресурсов; базу знаний, содержащую как факты, так и эвристические правила планирования и решения задач; интерпретатор для применения этих правил, диспетчер для управления порядком обработки правил, компонент обеспечения непротиворечивости, который исправляет предыдущее заключение при поступлении новых данных (знаний), влияющих на эти заключения; компонент оправдания, который ищет обоснование и дает объяснение поведению системы.

Пользователь взаимодействует с экспертной системой на проблемно-ориентированном языке (обычно на некотором ограниченном варианте естественного языка), а в некоторых случаях — посредством графических устройств или структурного редактора. Лингвистический процессор ведет грамматический разбор и затем дает интерпретацию вопросов, команд и другой информации, поступающей от пользователя. В то же время лингвистический процессор оформляет информацию, создаваемую системой, включая ответы на вопросы, объяснения, оправдания своего поведения и запрос данных.

На «доске объявлений» записываются промежуточные гипотезы и решения системы. В каждой экспертной системе используется одно из промежуточных решений, и лишь в некоторых из них для записи различных типов решений явным образом используется «доска объявлений», на которой могут быть записаны 3 типа представлений: элементы плана, заявок и решений. Первые описывают способ, с помощью которого в системе предполагается решать задачу, включая текущие планы, цели, состояние задач и контексты. Например, некий план может рекомендовать сначала обработать все данные низкого уровня, затем сформулировать небольшое число наиболее перспективных гипотез, уточняя и развивая каждую из них, до тех пор пока не появится одна (самая лучшая) гипотеза, и наконец, уделить все внимание только этой гипотезе до получения окончательного решения. План такого вида был использован в нескольких экспертных системах. Элементы заявок (второй тип представлений) несут информацию о потенциальных действиях, ожидающих выполнения, которые обычно соответствуют правилам из базы знаний, имеющим отношение к некоторому решению, помещенному ранее на эту доску объявлений. Элементы решения (третий тип представлений) представляют собой гипотезы и решения, выдвинутые системой в качестве возможных вариантов вместе с зависимостями, связывающими решения между собой.

Диспетчер обеспечивает управление заявками и определяет, какое из ожидаемых действий следует выполнять следующим. Он может обладать некоторым запасом знаний, с помощью которых можно оценить каждый элемент рассматриваемого плана и другие имеющиеся варианты решений.

Интерпретатор выполняет выбранный элемент заявки путем применения соответствующего правила из базы знаний. В общем случае он выявляет со-

блюдение правил, связывает переменные в условиях с конкретными элементами решений на «доске объявлений», а затем вносит соответствующие изменения. Интерпретаторы этого типа обычно пишутся на языке ЛИСП в связи с наличием в нем средств для манипулирования и оценивания программ.

Компоненты обеспечения непротиворечивости представления для появляющихся решений принимают форму пересмотра убеждений, при которой элементы решений выступают как логические дедукции и соотношения для значений истинности в них.

Компонент оправдания объясняет пользователю действия, совершаемые системой. Как правило, он отвечает на вопросы, почему было дано именно такое заключение или почему некоторые другие альтернативы были отброшены. Для этого в компоненте оправдания реализуется небольшое число стандартных планов ответов на вопросы. В них обычно требуется, чтобы компонент оправдания производил просмотр (трассировку) элементов решений «доски объявлений» в обратном направлении, начиная от того заключения, к которому относится вопрос, и направляясь к промежуточным гипотезам или данным, на которые опиралось это заключение. Каждый шаг назад соответствует выводу на основе одного правила из базы знаний. Компонент оправдания собирает вместе такие промежуточные выводы и переводит их на обычный язык перед выдачей их пользователю. Для ответа на вопрос: «Почему не...?» система прибегает к эвристическому варианту этого метода. Предположим, что удалось выделить некоторую возможную цепочку правил, которая не только позволила бы прийти к обсуждаемому заключению, но и была применена к одному из правил. Компонент оправдания объясняет пользователю решение системы отказаться от некоторого возможного заключения, заявив, что такие невыполненные условия заблокировали все цепочки рассуждения, обосновывающие это заключение.

Например, в базе знаний хранятся правила, факты и информация о текущей задаче, которая может быть полезной при формировании ее решений. Если правила из базы знаний имеют процедурную интерпретацию, то факты играют пассивную роль. Они представляют собой краткосрочную информацию в том отношении, что могут изменяться, например, в ходе консолидации. Правила представляют более долговременную информацию о том, как порождать новые факты или гипотезы из того, что сейчас известно.

Эффективность работы ЭС во многом зависит от принципов представления информации (знаний) в системах, т. е. от того, каким образом знания структурированы в программах. Известно несколько стандартных способов представления знаний в информационных системах. В современных практических ЭС используются следующие из них:

- правила вывода;
- семантические сети;
- фреймы.

Методы представления, основанные на правилах. Правила, на базе которых формируются знания в системе, представляют собой цепочку вывода в формате

если (условие) — то (действие).

Удовлетворение текущей ситуации правила в части «если» задает выполнение части «то». Сопоставление частей «если» с фактами, оформленными в виде таких же правил, позволяет сгенерировать цепочку выводов, состоящую из последовательности применения правил. Совокупность применяемых правил определяет реакцию системы на изменение исходных данных. При этом правила дают возможность оценить ситуацию на каждом шагу и спрогнозировать возможные действия (другие правила).

Методы представления, основанные на фреймах и семантических сетях, описываются в виде сети узлов, связанных отношениями и организованных иерархически. Каждый элемент выражается через концепцию, которая состоит из атрибутов и значений, связанных с ним. Вершины нижнего уровня наследуют свойства узлов верхнего уровня, что обеспечивает эффективный способ общения знаний. Рассмотрим подробнее данные методы.

Семантические сети (СС). Они представляют собой универсальные графы, состоящие из точек, называемых узлами, и связывающих их дуг, описывающих отношения между узлами, которые соответствуют объектам, концепциям или событиям. Дуги могут быть представлены различными методами в зависимости от типологии их классификации. Такие сети отражают семантический смысл некоторого события в виде морфологической структуры.

Сети фреймов (СФ). Фрейм в отличие от СС описывается иерархической сетью, где верхние элементы суть общие понятия, а нижние — частные. Каждое понятие узла в СФ определяется набором атрибутов и значениями этих атрибутов (реквизит-признак, реквизит — основание для экономической информации). Отдельный атрибут называется слотом, который характеризуется некоторыми процедурами, выполняемыми при его изменениях.

Средства реализации экспертных систем. Средства реализации экспертных систем базируются на системах программирования (СП), которые упрощают проектирование ЭС. В качестве составляющих в СП входят следующие типы средств:

- языки программирования;
- языки построения знаний;
- вспомогательные средства;
- средства поддержки.

Языки программирования. В основном используются широко известные проблемно-ориентированные языки (ФОРТРАН, ПАСКАЛЬ и др.), но в большей степени — специализированные языки обработки текстов (ЛИСП, ПРОЛОГ и их производные ИНТЕРЛИСП, МЭКЛИСП), или, как их еще называют, символьные. Их популярность базируется на ряде свойств: гибкости,

развитом редактировании и средствах отладки, едином подходе к представлению программ и данных, что позволяет легко модифицировать уже существующие в базе знаний правила и вводить новые. В этих языках отношения между объектами отражаются в специальных списках.

Языки построения знаний (ЯПЗ). Это инструментальная система, погруженная в поддерживающую оболочку. ЯПЗ обычно делятся на скелетные и универсальные. Скелетный язык представляет собой просто оболочку ЭС, т. е. ЭС без специальных предметных знаний, и включает в себя средства вывода и поддержки, которые обеспечивают простую структуризацию знаний и готовые механизмы вывода, делающие разработку системы легкой и быстрой. Однако такие ЭС приложимы только к узкому классу проблем. Универсальные языки (УЯ) могут быть использованы для ЭС, работающих в разных проблемных областях. Они эффективнее в процедурах вывода и обеспечивают более гибкую организацию предметных знаний.

Вспомогательные средства. Они включают программы, оказывающие помощь в приобретении знаний у экспертов, и программы проектирования оболочек ЭС.

Средства поддержки. В эти средства можно включить отладочные комплексы, редакторы баз знаний, сервисные системы и др. В общем случае они определяют поддерживающее окружение, которое используется при построении ЭС для облегчения процедуры разработки.

Для реализации экспертных систем существуют различные возможности формирования программной оболочки, основанные на трех подходах:

- 1) реализация экспертных систем на базе стандартных языков программирования;
- 2) реализация экспертных систем на базе специализированных языков программирования;
- 3) реализация экспертных систем на базе пакета прикладных программ, образующих их оболочку.

Остановимся на каждом из них подробнее.

1. В силу существующих ограничений на представление знаний в ЭС и реализацию процедур манипулирования знаниями здесь можно использовать только алгоритмические языки высокого уровня, позволяющие обрабатывать структурные данные. К ним относятся PL/1, СИ, БЕЙСИК, ФОРТРАН и др.

2. Для большинства работ по реализации экспертных систем на базе специализированных языков программирования чаще всего применяются языки ЛИСП и ПРОЛОГ. Остановимся подробнее на языке ЛИСП. Он ориентирован на символьные вычисления: программист может прямо использовать такие термины, как «сырье и материалы» и «фонд заработной платы». Хотя подобные термины непосредственно в ЛИСП не определены, ЛИСП-программа может свободно манипулировать такого рода символами и их отношениями. Интерактивность большинства ЛИСП-систем в значительной степени облегчает возможность постепенного эволюционного развития системы, столь необходимой

в инженерных знаниях. Наконец, программист освобожден от определенных нагрузок (включая чрезмерную заботу об управлении памятью), которые могут замедлить процесс экспериментирования.

Несколько диалектов ЛИСП различаются главным образом особенностями своей программной среды. Наиболее распространенными являются МАКЛИСП и ИНТЕРЛИСП.

Как и все языки программирования, ЛИСП или его диалект при реализации экспертной системы требует наличия двух основных компонентов: аппарата логического вывода, т. е. «дедуктивной машины», и набора правил. В зависимости от общей структуры каждое правило удовлетворяет набору условий, определяющих его уместность, и при его инициализации должна выполняться некоторая последовательность действий.

Как известно, ЛИСП не является алгебраическим языком, его называют языком функции или языком обработки списков. Он нашел широкое применение для решения разнообразных логических задач (например, при доказательстве теорем), а также при автоматическом применении решений и построении планов действий роботов. Заложенные в нем идеи, его функциональная структура, способ описания данных оказали сильное влияние на ряд других языков, предназначенных для решения задач из области искусственного интеллекта.

3. Оболочки экспертных систем оказываются весьма удобными для ЛПР. Они представляют собой объемный программный продукт, доступный для использования методов инженерии знаний в проблемных средах, в которых необходимо, кроме того, обеспечить поддержку принятия решений. Они нацелены на применение в самых разнообразных приложениях и самыми разнообразными пользователями — от новичка до опытного системотехника. Эти системы реализованы на широком наборе вычислительных устройств, включая такие ЭВМ, как IBM, ICL, VAX, SUN, Mac и Pentium. Предусмотрена связь между ПК в телекоммуникационных сетях, возможность работы с распределенными компонентами и пр. Системы позволяют пользователю проверить как основания для заключений, полученных в некотором сеансе работы, так и информацию для статистической базы знаний. Они дают возможность применить «дедуктивный вывод» к предметной области новой задачи, а также специальные знания, которые могут быть представлены на языке правил системы.

В качестве примеров оболочек экспертных систем можно привести следующие типовые оболочки: GURU, LEONARDY, ЭКСПЕРТ, ПИОНЕР, ИНТЕР-ЭКСПЕРТ, СОВЕТ-МИКРО и др.

Если учесть, что в практике управления экономическими системами наибольший объем задач принятия решений относится к классу типовых решений и решений-усовершенствований (кроме них существуют еще и оригинальные решения), то весьма важным элементом структуры ЭС представляется модуль хранения и поиска типовых ситуаций (блок стандартных ситуаций). В силу того что это важный компонент ЭС в литературе освещена слабо, необходимо рассмотреть данную проблему несколько подробнее.

19.2. Работа с типовыми управленческими ситуациями (модуль стандартных ситуаций ЭС)

В предыдущем разделе мы определили структуру системы поддержки процессов управления и принятия решений в виде трехступенчатой процедуры, включающей на каждом этапе (ступени) функционирования модуль с собственным представлением и содержанием информационного, методического фонда, базы знаний а также с отличными друг от друга наборами операций по обработке информации и знаний различной степени структурированности.

Полная структура системы поддержки ПУПР включает в себя в качестве составных частей следующие подсистемы:

- модуль информационной поддержки ПУПР (формирование информационного образа (ИО) проблемной ситуации; моделирование и прогнозирование проблемной ситуации);
- модуль хранения и анализа типовых управленческих ситуаций (БСС);
- подсистему экспертной поддержки (синтез альтернатив и их оценка).

Таким образом, модуль БСС начинает функционировать на втором этапе работы системы, решает обобщенную задачу классификации типовых управленческих ситуаций, их хранения и выдачи ЛПР для класса распознанной ситуации групп, применяемых ранее, и зарекомендовавших себя альтернатив решения по указанной проблемной ситуации. Следовательно, в процессе управления проблемные ситуации сводятся к некоторым однородным классам управленческих решений, т. е. к некоторому типовому набору альтернатив.

Если проблемная ситуация не ассоциируется ни с одним из классов типовых ситуаций из БСС или набор имеющихся альтернатив для данного класса ситуаций не адекватен реальной ситуации, то в работу вступает следующая по уровню процедура формирования информационного обеспечения управляющих решений, позволяющая привлечь другие источники формирования адекватного информационного образа ситуации для ее пополнения и классификации.

При этом по некоторым проблемным ситуациям могут возникать случаи, когда имеющихся в информационном фонде системы данных не хватает для построения варианта решения, или данная информация является нечеткой, или степень адекватности информационного образа самой проблемной ситуации не соответствует требуемому значению точности (порога). Тогда включается следующий по уровню механизм поддержки, ориентированный на автоматизированную экспертизу и запускающий подсистему *экспертной поддержки* для генерации и синтеза возможных альтернатив. Эта подсистема генерирует альтернативы на основе следующих параметров:

- информации, имеющейся в информационном фонде, накопленной на первом этапе;
- классификации типовых ситуаций и набора адекватных альтернатив, полученных (возможно) на втором этапе;

- собственного набора правил преобразования и процедур оценки синтезированных альтернатив.

Для представления и работы с проблемными ситуациями в системе формулируются принципы реализации описания ситуации в виде, необходимом для функционирования данного модуля.

Рассмотрим случаи представления проблемной ситуации и информационного описания для реализации модуля.

Нечеткое представление проблемных ситуаций в ЭС и процедуры их обработки.

Пусть S — некоторая система, а множество $s_1, s_2, \dots, s_m$ — множество состояний системы. И пусть каждое состояние системы s_i определяется набором признаков $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, значениями которых описывается состояние системы. Каждый признак y_i ($i = 1, \dots, m$) характеризуется некоторой переменной (элементарной), возможно лингвистической:

$$\langle y_i, T_i, D_i \rangle,$$

где $T_i = t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{ik}$ — терм-множество лингвистической переменной (набор лингвистических значений признака); D_i — базовое множество признака y_i . Каждое значение T_{ij} описывается нечетким множеством $\tilde{C}_{ij}$ в базовом множестве D_i ¹:

$$\tilde{C}_{ij} = \langle m_{cij}(d) \mid d \in D_i \rangle,$$

Определение. Нечеткой ситуацией называется нечеткое множество второго уровня:

$$\tilde{s}_i = \langle m_{si}(y_i) \mid y_i \in Y \rangle,$$

$$\text{где } m_{sj}(y) = \langle m_{msj}(y)(T_{ij}) \mid T_{ij} \in T_j, j \in J, i \in I \rangle.$$

Пример 19.1. Пусть y_1 — объем материалов данной номенклатуры на складе, y_2 — расход данного материала на программу, y_3 — скорость поставок данной номенклатуры. Лингвистическая переменная $T_{ij} = (t_1 — большая, t_2 — средняя, t_3 — малая), m = (0 - 1)$.

Описание нечеткой ситуации:

$$\tilde{s} = (\langle 0,1/t_1 \rangle, \langle 0,8/t_2 \rangle, \langle 0,4/t_3 \rangle / y_1, \langle 0,6/t_1 \rangle, \langle 0,3/t_2 \rangle, \langle 0,8/t_3 \rangle / y_2, \langle 0,3/t_1 \rangle, \langle 0,6/t_2 \rangle, \langle 0,1/t_3 \rangle / y_3).$$

Процедура пополнения ситуации. При изменении ситуации возникает необходимость в периодическом пополнении формальной структуры, отображаю-

¹ Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. — М.: Наука, 1990. 272 с.; Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. — М.: Наука, 1986. 312 с.; Нечеткие множества и теория возможностей: Последние достижения / Пер. с англ. под ред. Р. Р. Ягера. — М.: Радио и связь, 1986. 406 с.; Нечеткие системы поддержки принятия решений: Сб. науч. тр. — Калинин: КПИ, 1989. 123 с.

щей данную ситуацию. Обозначим процедуру пополнения ситуации через u и представим в виде отображения:

$$u: z \rightarrow z',$$

где z — исходное состояние некоторой проблемной ситуации; z' — пополненная ситуация (на величину Δz), так что

$$z \in z', z' = z \cup \Delta z,$$

где Δz — пополнение.

Тогда процедура пополнения будет происходить в несколько этапов:

- 1) выделение в пополняемом блоке Δz главного элемента E^0 ;
- 2) выделение в пополняемом блоке Δz ключевых отношений R^0 ;
- 3) поиск в структуре z главного элемента и ключевых отношений;
- 4) если элемент E^0 найден, то необходимо:
 - а) склеить вершину $E^0(\Delta z)$ и $E^0(z)$, перейти к п. 5; иначе
 - б) построить структуру нового несвязанного подграфа, перейти на *конец*;
- 5) провести анализ склеенной вершины $E^0(z)$ и связывающих его ключевых R^0 и включающих отношений R со связанными вершинами $E_j^i(z)$, где вершины $E_j^i(z)$ связаны с $E^i(z)$;
- 6) вычислить цепочку $E^0(z) \rightarrow E_k^i(z)$;
- 7) провести анализ отношений и обобщить, если анализ адекватен (цепочка $E^0(z) \rightarrow E_k^i(z)$ соответствует цепочке $E^0(\Delta z) \rightarrow E_p^j(\Delta z)$). Причем данное соотношение заносится в список обобщений, т. е.

$$(E^0 \rightarrow E_k^i) \upharpoonright_z \subseteq (E^0 \rightarrow E_p^j) \upharpoonright_{\Delta z};$$

- 8) заменить в структуре z полученные цепочки $(E^0 \rightarrow E_k^i) \upharpoonright_z$ на соответствующие из Δz — $(E^0 \rightarrow E_p^j) \upharpoonright_{\Delta z}$;
- 9) конец.

Данная процедура позволяет работать с непосредственным представлением ситуации, как в модуле экспертной поддержки, так и в блоке стандартных ситуаций.

Для реализации некоторых процедур, указанных выше, опишем более подробно технологию их выполнения.

Процедура классификации проблемной ситуации. Для классификации входной ситуации $\tilde{s}^0$ необходимо сравнить ее с некоторым элементом (ситуацией) из набора БСС. В свою очередь, БСС представляет собой образцы ситуаций $\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_k$, включенные в БСС после оценки эффективности и анализа правильности их разрешения. Для определения степени близости между входной ситуацией $\tilde{s}^0$ и текущим образцом $\tilde{s}_i$ из БСС можно использовать:

- величину степени нечеткого включения $\tilde{s}^0$ в $\tilde{s}_i$;
- значение степени нечеткого равенства $\tilde{s}^0$ и $\tilde{s}_i$;

- величину степени нечеткой общности $\bar{s}^o$ и $\bar{s}_j$;
- расстояние (метрику) между сравниваемыми образцами.

Выбор используемого критерия для оценки степени близости определяется особенностями системы ведения БСС.

Указанные ниже операции истинны также и для представления ситуаций в экспертном модуле.

Нечеткое включение ситуаций. Определим степень нечеткого включения $\bar{s}_i$ в $\bar{s}_j$. Пусть $\bar{s}_i = \langle m_{si}(y)/y \rangle$, $\bar{s}_j = \langle m_{sj}(y)/y \rangle$. Тогда степень включения ситуации $\bar{s}_i$ в ситуацию $\bar{s}_j$ обозначается через $v(s_i, s_j)$ и определяется следующим выражением:

$$v(s_i, s_j) = \&_{y \in Y} v(m_{si}(y), m_{sj}(y)),$$

где v — отношение нечеткого включения, вычисляемого соотношением

$$(m_{si}(y) \rightarrow m_{sj}(y)) = \max [(1 - m_{si}(y)), m_{sj}(y)],$$

$$\text{или } v(m_{si}(y), m_{sj}(y)) = \&_{x \in X} (m_{m(si)(y)}(x) \rightarrow m_{m(sj)(y)}(x)).$$

Для описания ситуации поиска в **блоке стандартных ситуаций**, где s_i — стандартная ситуация; s_j — банк стандартных ситуаций, используется отношение включения (на базе операции включения в нечетких множествах):

$$s_i \subseteq s_j \text{ если отношение нечеткого включения } v > 0,6;$$

$$s_i \not\subseteq s_j \text{ если отношение нечеткого включения } v < 0,6.$$

Пример 19.2. Для множества $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ ситуации $\bar{A}$ и $\bar{B}$ определены так:

$$\bar{A} = (0,3/x_2), (0,6/x_3), (0,4/x_5);$$

$$\bar{B} = (0,8/x_1), (0,5/x_2), (0,7/x_3), (0,6/x_5).$$

Определим степень включения по каждому признаку x_i :

$$v(s_i, s_j) = v(\bar{A}, \bar{B}) = (0 \rightarrow 0,8) \& (0,3 \rightarrow 0,5) \& (0,6 \rightarrow 0,7) \& (0 \rightarrow 0) \& (0,4 \rightarrow 0,6).$$

С учетом правил выполнения логических операций над нечеткими множествами¹:

$$(\bar{A} \rightarrow \bar{B}) = \min (1 - \bar{A}, \bar{B}),$$

$$(\bar{A} \& \bar{B}) = \min (\bar{A}, \bar{B}),$$

$$(\bar{A} \cup \bar{B}) = \max (\bar{A}, \bar{B}), \text{ где } \cup \text{ — операция дизъюнкции;}$$

$(\bar{A} \leftrightarrow \bar{B}) = \min ((\max (1 - \bar{A}, \bar{B})), (\max (1 - \bar{B}, \bar{A})))$, где $\leftrightarrow$ — операция эквивалентности, получим следующие выражения:

¹ Нечеткие множества и теория возможностей: Последние достижения / Пер. с англ.

$$v(\neg A, \neg B) = \min [\max(1 - 0; 0,8) \& \max(1 - 0,3; 0,5) \& \max(1 - 0,6; 0,7) \& \max(1 - 0; 0) \& \max(1 - 0,4; 0,6)] = \min [\max(1; 0,8) \& \max(0,7; 0,5) \& \max(0,4; 0,7) \& \max(1; 0); 0];$$

$$\& \max(0,6; 0,6)] = \min [\max(1; 0,8) \& \max(0,7; 0,5) \& \max(0,4; 0,7) \& \max(1; 0) \& \max(0,6; 0,6)] = \min [1 \& 0,7 \& 1 \& 0,6] = 0,6.$$

Для $v(\neg B, \neg A)$ имеем значение, равное 0,2.

Тогда имеем соотношение $(\neg A \subseteq \neg B) \rightarrow 0,6$; $(\neg B \subseteq \neg A) \rightarrow 0,2$, т. е. имеем обобщенное отношение следующего типа: $\neg A$ входит в $\neg B$ со степенью включения 0,6.

Процедура определения нечеткого включения. Пусть даны две ситуации s_i и s_j :

$$(s_p, s_j) \subseteq S, \text{ где } S = \langle Y, T, A(T) \rangle \text{ при } Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}, T = [T_1, T_2, \dots, T_l],$$

$$A(T) = \{a_1(t_1), a_2(t_2), \dots, a_m(t_m)\} - \text{множество значений } t \in T.$$

Тогда ситуации описываются через значения лингвистической переменной в следующем виде:

$$\neg s_i = ([(a_{i1}(t_1)/T_{11}), (a_{i2}(t_2)/T_{12}), \dots, (a_{in}(t_n)/T_{1n})]/y_1), ([(a_{i1}(t_1)/T_{21}), (a_{i2}(t_2)/T_{22}), \dots, (a_{ik}(t_k)/T_{2k})]/y_2), \dots, ([(a_{i1}(t_1)/T_{p1}), (a_{i2}(t_2)/T_{p2}), \dots, (a_{il}(t_l)/T_{pl})]/y_m).$$

$$\neg s_j = ([(a_{j1}(t_1)/T_{11}), (a_{j2}(t_2)/T_{12}), \dots, (a_{jn}(t_n)/T_{1n})]/y_1), ([(a_{j1}(t_1)/T_{21}), (a_{j2}(t_2)/T_{22}), \dots, (a_{jt}(t_t)/T_{2t})]/y_2), \dots, ([(a_{j1}(t_1)/T_{p1}), (a_{j2}(t_2)/T_{p2}), \dots, (a_{jr}(t_r)/T_{pr})]/y_m).$$

1. Определим нечеткое включение по каждому $y_i \in Y$, т. е.

$$v(y_i) = v(m_{si}(y_i), m_{sj}(y_j)) = \min_{y \in T} [\max(1 - a_{ik}(t_k); a_{jk}(t_k))].$$

2. Определяем $v(\neg s_p, \neg s_j) \subseteq \min_Y [v(y_i)]$.

3. Если $v(\neg s_p, \neg s_j) \subseteq [0,6; 1]$, то $\neg s_i \subseteq \neg s_j$ иначе $\neg s_i \not\subseteq \neg s_j$.

При этом считаем, что ситуации $\neg s_p, \neg s_j$:

сходны, если $v \geq w$;

несходны, если $v \leq (1 - w)$;

индифферентны, если $v \in [1 - w, w]$,

где $w = 0,6$ — пороговое значение степени нечеткого включения.

Если они сходны, то считаем, что они нечетко равны. Если индифферентны, т. е.

$$\neg s_i \subseteq \neg s_p, \neg s_j \subseteq \neg s_p, \text{ то } \neg s_{ij} = \neg s_i \cup \neg s_j.$$

Нечеткое равенство ситуаций определяется его степенью принадлежности и задается

$$m(s_p, s_j) = v(s_p, s_j) \& v(s_j, s_p).$$

Если $m(s_i, s_j) \geq w \in [0, 6; 1]$, то $\sim s_i \sim \sim s_j$, т. е.

$$(\forall y \in Y)[(m_{s_i}(y) \mid y) \sim (m_{s_j}(y) \mid y)];$$

причем

$$m(s_i, s_j) = \&_{y \in Y} m(m_{s_i}(y), m_{s_j}(y)).$$

Нечеткое покрытие и разбиение ситуаций. Нечеткое покрытие множества X — есть семейство R нечетких множеств, для которых выполняются следующие условия:

$$(\forall A \subseteq R) (\sim A \neq 0); (\forall A \subseteq R) (\sim A \subseteq X); \bigcup_{\sim A \in R} \sim A \approx X.$$

Нечеткое покрытие есть совокупность нечетких подмножеств множества X , объединение которых нечетко равно множеству X . Элементы семейства R суть классы нечеткого покрытия. Класс называется максимальным, если он не включается нечетко ни в один другой.

Нечетким разбиением множества X называется семейство M нечетких множеств, для которых выполняются следующие условия:

$$(\forall A \subseteq M) (\sim A \neq 0); (\forall A \subseteq M) (\sim A \subseteq X); \bigcup_{\sim A \in M} \sim A \approx X;$$

$$(\forall A \subseteq M) (\forall B \subseteq M) (\sim A \notin \sim B) \approx (\sim A \& \sim B) \approx 0.$$

Элементы семейства M суть классы нечеткого разбиения множества X .

Алгоритм работы БСС для четких представлений. В отношении ситуаций, представленных четкими графами, для которых функции принадлежности равны единице, можно использовать стандартное графовое представление и соответственно операции с графами. Для этого в сети намечаются приближительные контуры выделяемого модуля в соответствии с образцом, производится их предварительная оценка и, если оценка удовлетворительна, дальнейший анализ.

Представление информации в блоке БСС и непосредственно в модуле экспертной поддержки осуществляется одинаково, поэтому процедуры и алгоритмы работы также одинаковы. Рассмотрим вопросы вычисления на семантических сетях для получения ответов на запросы пользователя или при формировании других вспомогательных действий при пополнении информационного фонда системы и анализе образцов в БСС. В данном случае удобно воспользоваться методом изоморфизма графов, так как в общем случае информация представлена в виде семантической сети. Обобщая операции нечеткого включения, покрытия и разбиения, сформулируем метод изоморфизма.

Деревья $T_1 = (V_1, E_1)$ и $T_2 = (V_2, E_2)$ изоморфны, если между их ребрами можно установить взаимнооднозначное соответствие, сохраняющее отношение смежности $V_1 \leftrightarrow V_2, E_1 \leftrightarrow E_2$, а функция $P(e, v, w)$, оценивающая степень соот-

ветствия деревьев (инцидентор $P(e, v, w)$ принимает значение 1 тогда, когда ребро e инцидентно вершинам v, w), имеет значение, что $T_1 \sim T_2$ при истинности выражения

$$(\forall (v, w) \in V_1) (\forall (v, w) \in V_2) (\forall e \in E_1) (\forall e \in E_2) (v \leftrightarrow v' \ \& \ w \leftrightarrow w' \ \& \ e \leftrightarrow e') \rightarrow [p(e, v, w) \rightarrow p(e', v', w')].$$

Матрицы смежности могут быть переведены одна в другую перестановкой рядов (строк и столбцов).

Для анализа изоморфизма подграфов можно воспользоваться алгоритмами Ахо–Хопкрофта–Ульмана, Земляченко или Корнеля–Готлиба¹.

19.3. Логическая структура информационного фонда и алгоритм функционирования модуля БСС

Подход к представлению ситуаций экономической системы в виде семантических сетей объясняется тем, что они господствуют практически во всех интеллектуальных информационных системах. В большинстве случаев в таких системах осуществляется переход от текстового описания к тому или иному формализованному представлению содержания (смысла) данной ситуации. Причем глубина проникновения в смысл зависит как от самого вида представления (например, гипертекст или семантическая сеть, так и от требований системы и может быть различной².

Определение. Формализованное представление содержания, изображающее смысл информации, называется **семантическим представлением** (СемП) и определяется графом, у которого вершины помечены символами **семантических единиц** (СЕ), а дуги — символами **семантических зависимостей (отношений)** (СЗ).

В этой связи необходимо предусмотреть формальные средства для построения СемП высказываний и формальные правила их сопоставления. В литературе³ есть подробный анализ форм и методов получения таких средств. Проведенный анализ показывает наибольшую гибкость и универсальность в формализмах представления Р. Шенка⁴.

¹ Денисов А. А., Волкова В. Н. Иерархические системы.

² Мельчук И. А. Об одной модели понимания текстов на естественном языке (Семантическая теория Р. Шенка). Ч. 2 // Научно-техническая информация. 1974. № 8. Сер. 2. С. 33–44.

³ Кокун Л. М. Двухуровневое представление семантической информации для целей речевой коммуникации с роботом // Эвристические модели в психологии и социологии. — Киев, 1974. — С. 34–43; Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой; Станулов Н. Логические основы на измеримости на семантически информация // Проблемы на техническата кибернетика. 1976. № 3. — С. 58–67.

⁴ Шенк Р. Обработка концептуальной информации; Мельчук И. А. Об одной модели понимания текстов на естественном языке (Семантическая теория Р. Шенка).

Основным видом представления информации здесь служит некоторая концептуализация, состоящая из семантических единиц, соединенных семантическими зависимостями. Одна или несколько концептуализаций представляют собой фрейм. Совокупность фиксированных фреймов образует семантическую сеть. В упрощенном виде фрейм является набором концептуализаций из пары семантических единиц, связанных типовой семантической зависимостью, т. е.

$$K_j = (CE_j \text{ } C\bar{Z}_i \text{ } CE_k).$$

В качестве отдельной семантической единицы может выступать не только отдельная CE , но и другая концептуализация, т. е.

$$K_t = (CE_v \text{ } C\bar{Z}_d \text{ } K_j) = (CE_v \text{ } C\bar{Z}_d \text{ } (CE_j \text{ } C\bar{Z}_i \text{ } CE_k)).$$

При этом K_j простая, а K_t — составная (сложная) концептуализация. Фрейм формально определяется совокупностью элементарных и составных концептуализаций:

$$\Phi_r = \{K_1^r, K_2^r, \dots, K_n^r\}, \text{ или } \Phi_r = \bigcup_{i=1}^m K_i^r.$$

Однако в структуре фрейма должен присутствовать всегда лишь один экземпляр простой концептуализации, поэтому уточненная структура фрейма предполагает исключение из состава Φ_r составляющих, имеющих несколько представителей (аналогов, но не синонимов) элементов структуры, т. е. из состава Φ_r исключаются

$$f = \bigcap_{i=1}^m K_i^r.$$

Причем если количество эквивалентных экземпляров в структуре фрейма равно L , то в структуре остается один и убирается $L - 1$.

Тогда фрейм задается значением:

$$\Phi^r = \frac{\Phi_r}{f} = \frac{\bigcup_{i=1}^m K_i^r}{(L-1) \bigcap_{i=1}^m K_i^r}.$$

Совокупность взаимосвязанных фреймов задает СС:

$$CC = \bigcup_{r=1}^k \Phi^r = \bigcup_{r=1}^k \frac{\bigcup_{i=1}^m K_i^r}{(L-1) \bigcap_{i=1}^m K_i^r},$$

где Φ — система фреймов, состоящая из концептуализаций K_r .

Для логического представления информации такого рода необходимо рассмотреть способы реализации фреймов. Реализация семантической сети в системе представляет собой набор массивов, состоящий из четырех основных и одного вспомогательного массива.

Исходное представление управленческой ситуации может быть определено в терминах сети в виде совокупности концептуализаций:

$$K_i = \bigcup_{j=1}^n (PP, PA, AA, ACT, LOC, T)_j,$$

а полное представление определяется набором концептуализаций

$$M_1 = \bigcup_{i=1}^m K_i,$$

где M_1 — исходное представление управленческой ситуации.

Следующий массив M_2 описывает комплекс типовых ситуаций, информация по которым необходима ЛПР в течение определенного времени его функционирования. Исходя из возможности покрытия проблемной области ЛПР можно представить массив в виде набора

$$M_2 = \bigcup_{i=1}^m P_i,$$

где $P_j : (P_{j1}, P_{j2}, \dots, P_{jn})$.

Здесь P_j — элементарное представление типовой j -й ситуации, а P_{zj} — представление ситуации в разрезе конкретной задачи Z_j . Тогда массив M_2 имеет вид

$$M_2 = \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{z=1}^t P_{zi}^j.$$

Еще один массив M_3 задает исходное описание управленческой ситуации, по которому формируется массив представления M_1 .

Следующий массив M_4 , который назовем базой знаний, содержит отфильтрованную по проблемам Z_j и структуризованную информацию в виде концептуализаций. Структура M_4 аналогична структуре M_1 .

Вспомогательный массив M_5 необходим при преобразовании M_3 в M_1 .

Логическая структура информационного фонда системы для функционирования в режиме информационной поддержки представлена в виде схемы на рис. 19.1.

Процедура включения модуля БСС позволяет сформировать набор альтернатив по ПС на основании ее классификации. Это позволяет получить более полную картину о текущей ПС и сформировать микропроблемное информационное обеспечение ЛПР на каждом операционном этапе процесса принятия решений.

Рассмотрим алгоритм работы на начальном этапе формирования микропроблемного информационного обеспечения анализа и оценки проблемной ситуации (МИО). В этом случае состояние информационного фонда будет следующим:

$$M_1 = 1, M_2 = 1, M_3 = 1, M_4 = 0, M_5 = 0,$$

т. е. массивы M_4, M_5 пусты. Алгоритм системы приведен на рис. 19.2.

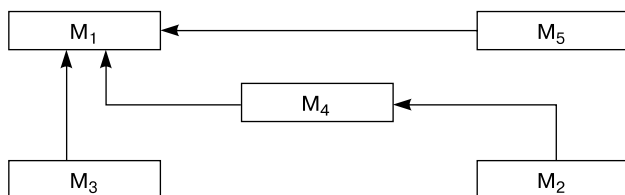


Рис. 19.1. Структура логического представления информационного фонда в системе

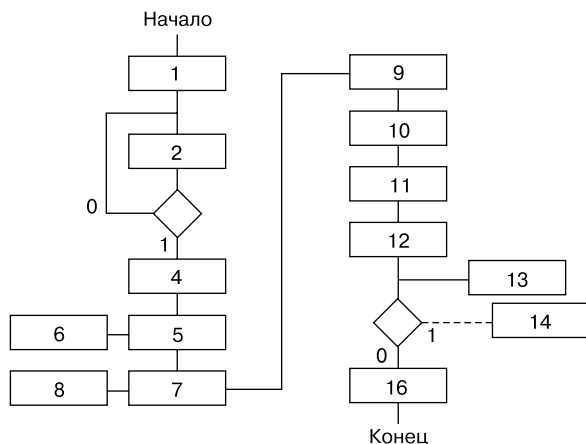


Рис. 19.2. Алгоритм работы системы

Блоки алгоритма содержат следующие операции:

- 1) ввод массивов $M_1 - M_5$;
- 2) выборка элементов концептуализации (СЗ, СЕ);
- 3) сравнение выбранных элементов с заданным набором;
- 4) подсчет элементов представления для вычисления оценки;
- 5) вычисление оценок характеристик p_j ;
- 6) ввод постоянных оценок характеристик p_j ;
- 7) вычисление локальных характеристик Φ^S, Φ^G, Φ^P ;
- 8) ввод настроечной матрицы $|m_i|$;
- 9) вычисление постоянных коэффициентов меры качества;
- 10) вычисление функции качества Q_j ;
- 11) вычисление нечеткой функции качества информации Q_{-j} ;
- 12) промежуточная печать результатов $p_{ij}, \Phi^S, \Phi^G, \Phi^P, Q_j, Q_{-j}$;
- 13) ввод пороговых значений Q^*_{-j} ;

- 14) дополнительный анализ Q_{-j} ;
- 15) сравнение вычисленной оценки Q_{-j} с пороговым Q^*_{-j} ;
- 16) занесение представление в МИО ЛПР.

Работа алгоритма начинается с загрузки начальной информации, находящейся в массивах $M_1 - M_3$ (блок 1).

В блоке 2 выполняется основная операция процедуры обработки: маркируются элементы массивов и производится сборка элементов в соответствии с формулами расчета характеристик P_j семантического (P_s), синтаксического (P_c) и прагматического (P_p) аспектов информации.

В блоке 3 осуществляется сравнение рассортированных помеченных элементов для их подготовки к вычислению в блоке 4.

В блоке 5 производится вычисление оценки каждой характеристики $n_j = q(p_j)$ по вышеприведенным формулам. Для некоторых характеристик осуществляется ввод фиксированных значений $n_j = q_\phi(p_j)$. Эта процедура производится в блоке 6.

На основании полученных оценок $n_j = q(p_j)$ в блоке 7 вычисляются значения локальных функций качества Φ^s, Φ^c, Φ^p , для получения которых вводится настроечная матрица $\{m_j(p)\}$, характеризующая индивидуальные параметры ЛПР.

В блоках 9–10 определяются константы и вычисляются меры (функции) качества Q_j . По матрице $\{m_j(p)\}$ формируется коэффициент степени нечеткости информации m_{Q_j} , на основании которого в блоке 11 вычисляется нечеткая мера качества информации Q_{-j} . Матрица $\{m_j(p)\}$ имеет блочно-диагональную структуру, каждый элемент которой представляет собой функцию принадлежности $m(p_j)$ характеристики p_j к тому или иному слою пространства характеристик Π^s, Π^c, Π^p . Каждая функция принадлежности назначается только для одного семиотического блока, кроме тех характеристик, которые помечены звездочкой и являются многоаспектными.

Для таких характеристик должно выполняться следующее соотношение:

$$m_{\Pi^s}(p^*_{js}) + m_{\Pi^c}(p^*_{jc}) + m_{\Pi^p}(p^*_{jp}) = 1.$$

В блоке 12 формируется файл вывода промежуточных результатов $p_j, \Phi^s, \Phi^c, \Phi^p, Q_j, Q_{-ш}$. При наличии у ЛПР информации о виде и значении порогового значения функции Q^*_{-j} его ввод осуществляется в блоке 13.

В случае отсутствия такой информации его значение принимается равным 0.

В блоке 15 проводится анализ представления на его адекватность проблемной области ЛПР. Анализ ведется на базе количественного сравнения оценки представления по критерию качества информации с требуемым уровнем порога необходимого информационного обеспечения для ЛПР. Если требования к качеству информации удовлетворительны, она включается в его индивидуальный информационный фонд (МИО). При значениях, близких к пороговым, требуется дополнительный анализ данного представления непосредственно самим ЛПР с привлечением дополнительных показателей.

19.4. Структура системы модельной поддержки

Наличие множества моделей, отвечающих различным требованиям и включаемых в единую систему модельной поддержки, предполагает учет ряда факторов, отражающих альтернативные подходы к выбору и применению моделей. Для интегрирования системы различных моделей в единую подсистему и для ее эффективной эксплуатации необходимо предусмотреть ряд функциональных и структурных ограничений и требований.

Учитывая требования, предъявляемые к процедурам моделирования, можно сформулировать и ограничения на функциональную структуру подсистемы поддержки моделирования. В структуре данной подсистемы обязательно наличие следующих основных модулей.

Анализатор ситуации. Данный блок осуществляет анализ входной ситуации и определение необходимого класса моделей, требуемых для оценки ситуации.

База моделей. Модуль представляет собой совокупность моделей различных классов и типов, подключение которых при обеспечении необходимых данных будет более или менее адекватно отражать протекающие в экономических объектах процессы.

Блок обеспечения данными. Данный модуль обеспечивает доступ к базам данных и управление потоками данных, пересылаемых для реализации конкретной модели, выбранной из базы моделей.

Система управления базой моделей должна обеспечивать последовательную процедуру формирования системы моделей, если требуется для анализа более чем одна модель, и согласование выходных (входных) потоков информации при переходах от моделей одного класса к другому, от одной системы критериев к другой и т. д.

Блок оценки прогноза. Основными целями модуля являются анализ, оценка результатов моделирования и интерпретация в терминах пользователя. При неудовлетворительных результатах блок должен обеспечивать возможность либо корректировки данных или модели, либо замены класса модели.

Интерфейс пользователя обеспечивает возможность простого и удобного взаимодействия пользователя с подсистемой.

Обобщенная функциональная схема подсистемы моделирования приведена на рис. 19.3.

Общие функции подсистемы должны обеспечивать:

- гибкий механизм построения, «сборки» и выбора моделей;
- каталогизацию моделей при их выборе для новых приложений или системы ограничений;
- актуализацию данных и результатов;
- простоту использования;
- адекватность оценки прогноза;
- формирование «сквозных» потоков информации при нескольких последовательно используемых моделях.

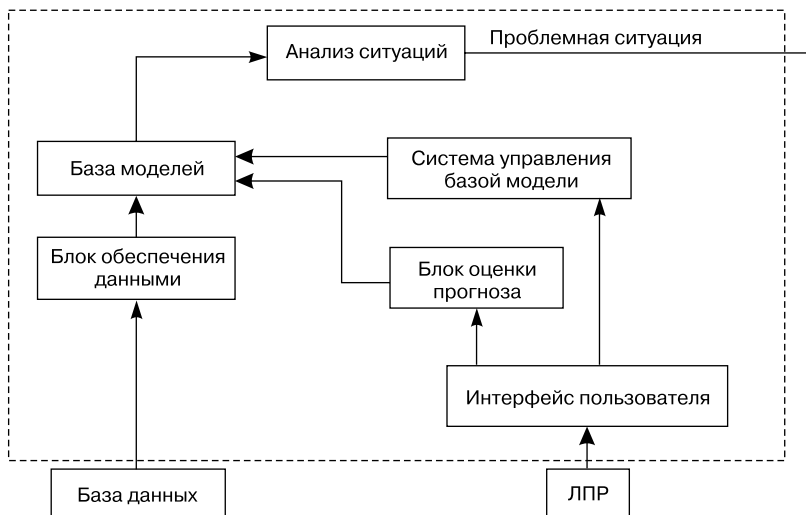


Рис. 19.3. Функциональная структура системы поддержки моделирования развития проблемной ситуации

Функционирование данной подсистемы начинается с инициализации пользователем модуля СУБМ. Здесь по результатам работы анализатора ситуации, указывающего необходимость получения структурированной и конкретизированной информации для адекватного распознавания проблемной ситуации, обосновываются и определяются вид необходимых моделей и методы представления входных и выходных данных, формируется система ограничений и критериев эффективности.

При наличии в информационном фонде (базе данных) модуля информационной поддержки, необходимого для решения модели объема информации, производится ее подключение к выбранному в блоке моделей конкретному виду модели в виде входных параметров и ограничений. Если же параметры и ограничения модели нечетки или определены не полностью, то возможно обращение к внешним модулям информации для снятия существующей неопределенности.

Результаты решения модели анализируются в блоке оценки прогнозов, где проводится интерпретация результатов анализа, и при удовлетворительной оценке пользователем модель и ее решение помещаются в базу моделей для создания прецедентов при выборе моделей для анализа возникшей проблемной ситуации.

База моделей. Как уже было сказано, база моделей включает в себя набор необходимых моделей, правила обоснования и выбора конкретной модели, адек-

ватно отвечающей содержанию проблемной ситуации, а также правила применения и систему ограничений на использование моделей. В структуру БМ следует также включить совокупность модельных блоков, модулей, процедур и другие элементы, необходимые для построения модели, готовой конструкции которой нет в БМ.

В общем случае совокупность моделей можно разделить на стратегические, тактические и оперативные. Каждый класс моделей имеет свои особенности и уникальные характеристики.

Стратегические модели применяются в основном на высших уровнях управления для установления целей организации (экономического объекта), объемов ресурсов, требуемых для их достижения, а также политики приобретения и эффективного использования этих ресурсов.

Модели данного типа могут быть использованы для планирования целей объекта, выбора вариантов размещения предприятий, прогнозирования политики конкурентов и т. д. Они характеризуются значительной широтой охвата, множеством переменных, представлением данных в сжатой агрегированной форме. Часто эти данные базируются на внешних источниках и имеют субъективный характер. Горизонт планирования в этих моделях измеряется в годах. Модели относятся к описательному типу и имеют в основном детерминированный характер.

Тактические модели применяются обычно на уровне среднего управленческого звена для распределения и контроля имеющихся ресурсов. Среди возможных сфер их использования можно указать: финансовое планирование, планирование требований к работникам, планирование увеличения продаж, построение технологической и организационной структуры подразделений предприятия и др. Эти модели применимы лишь к отдельным частям фирмы (например, к системе производства и сбыта) и могут включать в себя агрегированные показатели. Временной горизонт, охватываемый тактическими моделями, как правило, составляет период от одного месяца до года. Для решения модели могут потребоваться данные из внешних источников информации, но основное внимание уделяется внутренним данным фирмы. Тактические модели большей частью имеют детерминированный, оптимизационный и универсальный характер.

Оперативные модели используются на низших уровнях управления с временным горизонтом от нескольких часов до месяца. Возможное применение этих моделей включает ведение дебиторских счетов и кредитных расчетов, календарное производственное планирование, управление запасами и др. Оперативные модели применяют для своих расчетов внутрифирменные данные, они, как правило, относятся к детерминированным, оптимизационным и универсальным моделям.

Если рассматривать процесс традиционного использования моделей в управлении бизнесом с ретроспективных позиций, то в нем можно отметить и определенные успехи, и имеющиеся проблемы. В числе последних можно упомянуть

следующие трудности: получение входных данных, интерпретация полученных результатов, отсутствие доверия к моделям со стороны пользователей, интеграция моделей различного типа, построение собственных моделей пользователя и др.

Подход, положенный в основу построения подсистемы поддержки моделирования развития проблемной ситуации, направлен на возможное уменьшение указанных проблем в рамках единой интегрированной системы. Главный момент интеграции заключается в том, что основные компоненты системы (данные, модели, процедуры анализа и оценки результатов и пояснений, работающие в единой системе поддержки) позволяют получить новое качество в управлении фирмой.

Приведенное выше разбиение моделей на стратегические, тактические и оперативные определяет их назначение с точки зрения возможности использования моделей на том или ином уровне управления фирмой. Однако, чтобы показать различную природу моделей, используемых в СППР, часто применяют другую классификацию, приведенную в табл. 19.1.

Таблица 19.1. Классификация моделей по принципу формирования

Используемый в модели принцип	Особенности	Приложения и техника использования
Ограниченное число альтернатив	Нахождение лучшего решения из небольшого числа альтернатив	Теория принятия решений, матрицы последствий, деревья решений
Оптимизация через алгоритм	Нахождение лучшего решения из большого количества альтернатив методом последовательного улучшения результата	Модели математического программирования (в том числе линейные)
Оптимизация через аналитические формулы	Нахождение лучшего решения в один шаг, с использованием формулы	Модели управления запасами
Имитационное моделирование	Нахождение достаточно хорошего или наилучшего решения из ограниченного числа альтернатив, найденных экспериментально	Модели статистических испытаний
Эвристическое моделирование	Нахождение достаточно хорошего решения посредством использования правил	Эвристическое программирование, экспертные системы
Прогностические модели	Предсказание будущего по некоторому сценарию	Экстраполирование временных рядов, экспертные методы
Другие модели	Решение задач типа «Что будет, если...?» с использованием формул	Финансовое моделирование, электронные таблицы

Данная таблица требует некоторых пояснений.

Теория принятия решений представляет собой совокупность методов выбора решений из небольшого количества альтернатив. При данном подходе задается список альтернатив и планируется вклад каждой из них в достижение установленной цели. Оценка указанного вклада приводит к выбору лучшей из альтернатив. Решение задач в рамках теории принятия решений возможно для достижения как одной, так и нескольких целей. Для выбора решения, связанного с достижением одной цели, используются так называемые матрицы последствий и деревья решений.