

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Энергетический факультет
Кафедра «Экономика и организация энергетики»

Д. А. Лапченко

ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности
1-27 01 01 «Экономика и организация производства
(по направлениям)»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2021

УДК 005.53 + 519.816 (075.8)

ББК 22.18я7

Л24

Рецензенты:

А. Д. Луцевич, Ю. И. Акулич

Лапченко, Д. А.

Л24

Теория принятия решений : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-27 01 01 «Экономика и организация производства (по направлениям)» / Д. А. Лапченко. – Минск : БНТУ, 2021. – 62 с.

ISBN 978-985-583-561-6.

В пособии рассмотрены концептуальные основы системной методологии принятия решений, подходы к обоснованию решений в условиях неопределенности и риска, методы, алгоритмы и процедуры экспертного и системного анализа.

УДК 005.53 + 519.816 (075.8)

ББК 22.18я7

ISBN 978-985-583-561-6

© Лапченко Д. А., 2021

© Белорусский национальный
технический университет, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

1. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНОЙ МЕТОДОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	5
1.1. Основные понятия науки о принятии решений.....	5
1.2. Сущность, функции и виды управленческих решений.....	7
1.3. Технология разработки управленческих решений.....	8
1.4. Классификация проблем по степени их структуризации и принципы их решения	9
1.5. Постановка задачи векторной оптимизации. Классификация многокритериальных методов	11
1.6. Множество Эджворта-Парето	13
1.7. Обоснование решений в условиях риска	14
1.8. Обоснование решений в условиях неопределенности.....	17
Тестовые задания.....	20
Задания для закрепления материала	23
2. МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И ПРОЦЕДУРЫ ЭКСПЕРТНОГО АНАЛИЗА	26
2.1. Краткая характеристика и классификация методов экспертного анализа	26
2.2. Шкалирование эвристической информации	27
2.3. Метод ранга (балльных оценок).....	28
2.4. Метод предпочтений (частных ранжирований)	30
2.5. Методы парных сравнений.....	32
2.6. Метод «Дельфи-Конференция»	35
Тестовые задания.....	36
Задания для закрепления материала	38
3. МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И ПРОЦЕДУРЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА	40
3.1. Краткая характеристика методов системного анализа	40
3.2. Метод анализа иерархий	40
3.3. Модифицированный алгоритм Кемени-Снелла	44
3.4. Метод комплексной оценки структур	46
3.5. Методика сравнительной оценки двух альтернатив по степени доминирования	50

3.6. Метод ELECTRE	51
3.7. Метод функционально-стоимостного анализа	53
Тестовые задания.....	56
Задания для закрепления материала	59
ЛИТЕРАТУРА	62

1. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНОЙ МЕТОДОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

1.1. Основные понятия науки о принятии решений

Принятие решений – это особый вид человеческой деятельности, который состоит в обоснованном выборе лучшего варианта действия из имеющихся возможных. Необходимость выбора развивает человека, обостряет его творческие способности, усиливает ответственность за сделанный выбор.

Теория принятия решений – комплексная научная дисциплина, направленная на разработку методов и средств, помогающих участникам процесса принятия решений сделать обоснованный выбор рационального варианта из имеющихся. Основное назначение теории принятия решений состоит в разработке методов и средств, позволяющих человеку или группе лиц сформулировать множество возможных вариантов решения проблемы, сравнить их между собой, найти среди них лучшие или допустимые варианты, которые удовлетворяют определенным требованиям (ограничениям), и объяснить сделанный выбор.

В процессе принятия решения участвуют различные субъекты, играющие определенные роли:

1) лицо, принимающее решение (ЛПР) – человек, фактически осуществляющий выбор рационального варианта действий и несущий ответственность за этот выбор;

2) владелец проблемы – человек, отвечающий за решение проблемы (обычно это руководитель организации), который может поручить решение проблемы другим людям, делегируя им часть своих полномочий;

3) руководитель (участник) активной группы, состоящей из людей, имеющих общие интересы по отношению к проблеме, старающихся оказать влияние на выбор и его результат;

4) эксперты – высококвалифицированные специалисты, имеющие опыт, знания и интуицию в определенной области;

5) консультанты по принятию решений;

6) аналитики – специалисты, занимающиеся подготовкой и обоснованием решений.

Основными участниками процесса принятия решений являются ЛПР, аналитики и эксперты.

Возможные варианты решения проблемы называют *альтернативами*, от числа которых зависит сложность задач принятия решений. Альтернативы бывают независимыми и зависимыми. *Независимые* – альтернативы, любые действия с которыми не влияют на качество других. При *зависимых альтернативах* оценки одних оказывают влияние на качество других.

В теории принятия решений альтернативы характеризуются различными показателями их привлекательности (или непривлекательности) для участников процесса – *критериями оценки альтернатив*. Как и альтернативы, критерии могут быть зависимыми и независимыми. На сложность принятия решений влияет количество используемых критериев. Применение критериев для оценки альтернатив требует определения градаций их качества, т. е. использования определенных шкал оценок по критериям.

Методами принятия решений называют методы анализа альтернатив, которые условно можно разделить на качественные и количественные.

В разработке управленческих решений происходит сочетание формального и неформального подходов. Любые проблемные ситуации, требующие принятия решения, содержат достаточное число неопределенных факторов, которые оказывают влияние как на формальную постановку задачи, так и на средства ее решения: чем больше количественной определенности в характеристике изучаемой проблемы, тем больше доля формальной стороны и наоборот.

Задачи принятия решений могут классифицироваться по различным критериям:

- 1) по регулярности проблемной ситуации:
 - уникальные;
 - повторяющиеся;
- 2) по длительности периода реализации принятого решения:
 - стратегические;
 - тактические;
 - оперативные;
- 3) по виду окончательного результата:
 - задачи упорядочения альтернатив (задачи ранжирования);
 - задачи классификации многокритериальных альтернатив;
 - задачи выбора рациональной альтернативы.

В принятии решений сочетаются элементы науки, техники, эмпирики. С увеличением сложности технических, экономических, организационных, социальных задач повышается уровень требований к качеству управленческих решений.

1.2. Сущность, функции и виды управленческих решений

В экономической литературе понятие «управленческое решение» трактуется неоднозначно и рассматривается как процесс, как акт выбора и как результат выбора. Так определение управленческого решения формулируется как:

- совокупность рассматриваемых возможностей принятия проблемы;
- процесс поиска более предпочтительных вариантов;
- выбор цели, средств и методов ее достижения;
- результат анализа проблемы;
- продукт управленческого труда;
- соответствующий распорядительный документ.

С позиции теории принятия решений, **управленческое решение** – это творческий акт субъекта управления, определяющий программу действий по эффективному решению проблемы на основе анализа объективной и субъективной информации о состоянии управляемой системы.

Для характеристики управленческого решения могут быть использованы его организационный, психологический, социальный, экономический и информационный аспекты. Организационный аспект проявляется в организации разработки и решении проблемы, при этом реализуются его основные функции – направляющая, координирующая и мотивирующая.

Многообразие управленческих решений и особенности их разработки раскрывает классификация решений по различным признакам:

- 1) по содержанию:
 - технические;
 - экономические;
 - социальные;
 - организационные;
- 2) по источнику возникновения:
 - решения по предписанию;

- инициативные;
- 3) по способу доведения:
 - устные;
 - письменные;
- 4) в зависимости от числа субъектов принятия решения:
 - индивидуальные;
 - коллективные;
- 5) по степени уникальности (новизны):
 - традиционные;
 - инновационные;
- 6) по периоду действия:
 - оперативные;
 - тактические;
 - стратегические;
- 7) по методам разработки:
 - количественные;
 - эвристические;
- 8) по степени регламентации:
 - регламентирующие;
 - ориентирующие;
 - рекомендующие;
- 9) по степени неопределенности, зависящей от количества имеющейся информации:
 - детерминированные, принимаемые в условиях определенности, при наличии полной информации;
 - вероятностные, принимаемые в условиях вероятностной определенности (риска);
 - неопределенные, принимаемые в условиях неопределенности, т. е. при отсутствии необходимой информации.

1.3. Технология разработки управленческих решений

Технология разработки управленческих решений представляет собой совокупность последовательно повторяющихся действий, складываемых из отдельных этапов, процедур, операций. Специалистами по управлению предлагаются различные схемы процесса разработки решений (детализированные и агрегированные), различающиеся степенью детализации отдельных процедур и операций.

Типовая схема процесса принятия решений устанавливает набор и последовательность этапов на основе жизненного цикла решения проблемы, состоящего из нескольких основных стадий, и представляет собой многоэтапную итеративную процедуру:

- 1) возникновение проблемной ситуации;
- 2) выявление проблемы:
 - содержательное описание проблемы;
 - задание желательного результата решения;
 - определение ограничений;
- 3) постановка задачи:
 - сбор и анализ информации;
 - определение возможных альтернатив;
 - разработка модели проблемной ситуации;
 - формулировка задачи принятия решения;
- 4) поиск решения:
 - разработка (выбор) метода решения задачи;
 - оценка и сравнительный анализ альтернатив;
 - выбор наиболее предпочтительного варианта решения проблемы;
 - изменение формулировки проблемы;
- 5) исполнение решения:
 - реализация и контроль принятого решения;
 - оценка результата решения проблемы.

1.4. Классификация проблем по степени их структуризации и принципы их решения

Все множество проблем в зависимости от возможности их формализации (по степени структуризации проблем) можно разделить на три класса:

1) хорошо структуризованные (количественно выраженные), поддающиеся математической формализации и решаемые с использованием формальных методов;

2) неструктуризованные (качественно выраженные), которые описываются лишь на содержательном уровне и решаются с использованием неформальных процедур;

3) слабоструктуризованные (смешанные), которые содержат качественные и количественные характеристики проблемной ситуации и решаются на основе комплексного использования формальных и неформальных процедур.

Одна и та же проблема в процессе все более глубокого изучения и анализа может превратиться из неструктуризованной в слабоструктуризованную, а затем из слабоструктуризованной в хорошо структуризованную.

Для решения хорошо структурированных проблем используются математические методы исследования операций. В любом операционном исследовании можно выделить четыре основных этапа:

- 1) определение конкурирующих стратегий достижения цели;
- 2) построение математической модели операции;
- 3) оценка эффективности конкурирующих стратегий;
- 4) выбор оптимальной стратегии.

Основными компонентами математической модели являются множество условий внешней среды и проведения операции, конкурирующие стратегии, критерий эффективности. Модель позволяет оценить эффективность конкурирующих стратегий и выбрать из их числа оптимальную.

К критерию эффективности операции предъявляются следующие требования:

- представительность (критерий должен отражать основную цель операции);
- критичность (критерий должен изменяться при изменении параметров операции);
- единственность;
- учет стохастичности;
- учет неопределенности;
- учет противодействия;
- простота формулировки.

Для решения неструктурированных проблем используются методы экспертного анализа, применяемые в случаях, когда математическая формализация проблем или невозможна, или требует больших затрат средств и времени. Применение методов экспертных оценок основано на обращении к опыту, знаниям, интуиции экспертов. Эксперты являются как бы источниками информации, которая затем анализируется, обобщается и позволяет обосновать решение.

Для решения слабоструктурированных проблем используются методы системного анализа. Проблемы, решаемые с помощью системного анализа, имеют ряд особенностей:

- 1) принимаемые решения относятся к будущему;

- 2) имеется широкий диапазон альтернатив;
- 3) принимаемые решения требуют больших затрат ресурсов;
- 4) решения содержат элементы риска;
- 5) не полностью определены требования к критерию эффективности.

Системный анализ представляет собой многошаговую итеративный процесс, в котором сочетаются различные методы принятия решений (формальные и эвристические). Сочетание различных приемов необходимо для проведения сравнительной оценки конкурирующих альтернатив с учетом множества критериев.

1.5. Постановка задачи векторной оптимизации. Классификация многокритериальных методов

Многие реальные задачи принятия решений относятся к классу дискретных задач векторной оптимизации, решение которых осуществляется в условиях многовариантности, многокритериальности, неопределенности и риска с учетом системы предпочтений ЛПР.

Основными причинами, порождающими многокритериальность в задачах принятия решений, являются:

- множественность требований, предъявляемых к решению;
- необходимость сочетания субъективных предпочтений ЛПР, других неформализуемых факторов с количественным анализом ситуации;
- неполное или неточное представление ЛПР о цели и задачах операции;
- ограниченность ресурсов в распоряжении ЛПР;
- наличие нескольких ЛПР с пересекающимися интересами.

Задача принятия решений состоит в формировании множества возможных альтернатив, обеспечивающих решение проблемы при существующих ограничениях, и выделении среди этих альтернатив лучшей (или нескольких), удовлетворяющей предъявляемым к ней требованиям. При формулировке задачи необходима информация о предпочтениях участников процесса принятия решения; о совокупности условий реализации решения; о возможных альтернативных вариантах решения проблемы; о совокупности критериев, характеризующих альтернативы.

В упрощенном виде задача векторной оптимизации формулируется следующим образом. Имеется множество конкурирующих альтернатив $(\{A_i\}, i = \overline{1, n})$ и множество частных критериев $(\{K_j\}, j = \overline{1, m})$, не всегда согласованных между собой и противоречивых, используемых для оценки качества сравниваемых альтернатив. Для оценки конкурирующих альтернатив по частным критериям могут использоваться разнообразные средства – натурные эксперименты, экспертные оценки, математическое моделирование. Конкурирующие альтернативы отражаются в матрицу векторных оценок (табл. 1.1), в которой на пересечении соответствующих строк и столбцов проставляется оценка a_{ji} – векторная оценка альтернативы A_i по критерию K_j .

Таблица 1.1

Матрица векторных оценок альтернатив

$\{K_j\}$	$\{A_i\}$			
	A_1	A_2	...	A_n
K_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
K_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...
K_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}

Исходя из матрицы векторных оценок и системы предпочтений ЛПР, выбирается рациональная альтернатива (A_{rat}):

$$E = \text{opt} \{[a_{ji}]; \text{система предпочтений ЛПР}\} \Rightarrow A_{rat}.$$

Выбор рациональной альтернативы связан с преодолением неопределенности, которая всегда присутствует при наличии множества критериев. Для компенсации этой принципиальной неопределенности может существовать единственная возможность – использование системы предпочтений ЛПР, т. е. дополнительной субъективной информации.

Принятие решений – особый вид интеллектуальной деятельности, который заключается в выборе рациональной альтернативы из некоторого множества вариантов на основе матрицы векторных оценок альтернатив по различным частным критериям с учетом си-

стемы предпочтений ЛПП. Система предпочтений ЛПП связана с индивидуальными особенностями субъекта и определяется множеством экономических, социальных, психологических и иных факторов. Таким образом, системный подход к процессу принятия решений заключается в реализации трех взаимосвязанных процедур:

- 1) выявление множества потенциально возможных альтернатив;
- 2) выбор из множества потенциально возможных множества конкурирующих альтернатив;
- 3) выбор рациональной альтернативы из множества конкурирующих на основе сравнения критериальных оценок с учетом системы предпочтений ЛПП.

Все множество методов векторной оптимизации можно разбить на следующие классы:

- 1) методы, основанные на процедурах формализации в рамках аппарата исследования операций;
- 2) методы, основанные на процедурах компенсации одних критериев другими по схеме последовательных уступок;
- 3) методы, основанные на процедурах свертки векторных оценок и вычислений обобщенных оценок альтернатив;
- 4) методы, основанные на процедурах попарных сравнений альтернатив или на ранжировании по отдельным критериям;
- 5) методы, основанные на процедурах структуризации решаемой сложной задачи с целью выделения более простых элементов большой проблемы.

1.6. Множество Эджворта-Парето

Принцип согласованного оптимума был обоснован итальянским экономистом Парето и использовался для разрешения конфликтных ситуаций между несколькими субъектами с пересекающимися интересами. Позднее этот принцип был распространен на технические системы, по отношению к которым он формулируется следующим образом: оптимизация системы по одному из критериев практически исключает возможность оптимизации по другим критериям, однако выбор может быть обоснован как результат компромисса.

Парето-оптимальными называются альтернативы, которые не обеспечивают оптимума по каждому из частных критериев, однако являются удовлетворительными на всем множестве критериев, при-

чем улучшение состояния по одному из критериев приводит к ухудшению состояния по другим критериям.

Альтернативы относятся к множеству Эджворта-Парето, если каждая из них превосходит любую другую по какому-либо критерию. Такое множество включает в себя наиболее «контрастные» альтернативы, сложные для сравнения. Множество Эджворта-Парето названо по именам ученых, обративших внимание на альтернативы, не уступающие друг другу по критериальным оценкам, т. е. альтернативы, не находящиеся в отношении доминирования, поэтому их и называют *несравнимыми*.

Если стоит задача выбора одной лучшей альтернативы, то рациональная альтернатива обязательно будет принадлежать множеству Эджворта-Парето, но выбор будет обоснован при наличии дополнительной информации о системе предпочтений ЛПП на множестве частных критериев. Поэтому во многих методах принятия решений может быть выделен этап определения множества Эджворта-Парето из всего множества заданных альтернатив.

Один из возможных способов решения задачи определения множества Эджворта-Парето состоит в попарном сравнении альтернатив и исключении доминируемых. Альтернатива называется *доминирующей* по отношению к другой, если по всем частным критериям ее оценки не хуже, а хотя бы по одному критерию ее оценка лучше, при этом другая альтернатива называется *доминируемой*.

1.7. Обоснование решений в условиях риска

Риск – это возможность отклонения характеристик состояния объекта от ожидаемых значений. Оценка риска является интегральной, предполагающей использование в сочетании качественного и количественного подходов. Главная задача качественного подхода состоит в выявлении и идентификации возможных видов рисков, в определении и описании источников и факторов, влияющих на данный вид риска. Задачей количественного анализа риска является определение его размера либо с помощью конкретных показателей, либо через оценку влияния факторов риска на результативные показатели.

Универсальным и одним из наиболее распространенных методов количественного анализа риска является статистический метод, однако его использование в чистом виде при обосновании решений

ограничено. Чаще он реализуется в сочетании с экспертными оценками, методом сценариев, имитационным моделированием.

Суть статистического метода заключается в изучении статистики определенной экономической отдачи, позволяющей установить частоту (вероятность) ее получения и средний (среднеожидаемый) размер. Главными инструментами статистического метода являются:

- среднее (среднее ожидаемое) значение результата;
- показатели вариации результата.

Среднее ожидаемое значение – это предположительный результат, значение величины события, связанное с неопределенной ситуацией, которое является средневзвешенной всех возможных результатов, где вероятность каждого результата используется в качестве частоты (веса), соответствующего значения.

В ситуации риска реализуется вероятностный подход, предполагающий прогнозирование возможных исходов и присвоение им соответствующих вероятностей. При этом пользуются

- известными, типовыми ситуациями;
- предыдущими распределениями вероятностей на основании статистики предшествующих периодов или результатов выборочных обследований;
- субъективными оценками, сделанными аналитиками, ЛПР самостоятельно или с привлечением экспертов.

Для измерения риска могут использоваться абсолютные показатели вариации (размах вариации, среднее линейное отклонение, среднеквадратическое отклонение, дисперсия) и относительные показатели (коэффициент осцилляции, относительное линейное отклонение, коэффициент вариации). Однако использование в качестве измерителей риска абсолютных показателей вариации не всегда является обоснованным, например, если необходимо сделать выбор наиболее рационального варианта из множества потенциально возможных альтернатив с различными значениями среднеожидаемого результата. Возможность проведения сравнительной оценки вариантов решения дает расчет относительных показателей вариации.

Измерителем степени риска чаще всего выступает коэффициент вариации. Коэффициент вариации рассчитывается как отношение среднеквадратического отклонения (σ) к математическому ожиданию случайной величины (MO), характеризующему среднеожидаемый результат:

$$k_v = \frac{\sigma}{MO}.$$

Чем меньше значение коэффициента вариации, тем меньше неопределенность в получении запланированного результата, и, следовательно, тем меньше степень риска. Таким образом, рассматривая коэффициент вариации в качестве критерия обоснования решений в условиях риска, следует помнить, что этот критерий должен стремиться к минимуму:

$$k_v \rightarrow \min.$$

Для интерпретации полученного значения коэффициента вариации может использоваться следующая шкала:

$k_v \leq 0,1$ – малая степень риска;

$0,1 < k_v \leq 0,25$ – средняя степень риска;

$k_v > 0,25$ – высокая степень риска.

Способ расчета коэффициента вариации зависит от полноты имеющейся исходной информации:

1. Если имеется полная информация о распределении случайной величины, используют обычные формулы определения математического ожидания и среднеквадратического отклонения:

$$MO = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i, \quad \left(\sum_{i=1}^n p_i = 1 \right),$$

где x_i – прогнозная оценка случайной величины в i -м состоянии;

p_i – вероятность i -й прогнозной оценки;

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - MO)^2 \cdot p_i}.$$

2. Если известны только размах вариации случайной величины (минимальное значение x_{\min} и максимальное значение x_{\max}) и соответствующие вероятности получения наименьшего и наибольшего результата (p_{\min} и p_{\max} , $p_{\min} > p_{\max}$), то расчет производится на основе

предположения о β -распределении случайной величины с использованием формул

$$MO = \frac{3 \cdot x_{\min} + 2 \cdot x_{\max}}{5};$$

$$\sigma = \sqrt{(x_{\min} - MO)^2 \cdot p_{\min} + (x_{\max} - MO)^2 \cdot p_{\max}}.$$

3. Если известен только размах вариации (x_{\min} и x_{\max}), а соответствующие вероятности не известны, то на основании предположения о β -распределении случайной величины размер отклонения оценивают приближенно:

$$\sigma \approx \frac{x_{\max} - x_{\min}}{5}.$$

1.8. Обоснование решений в условиях неопределенности

Сущность неопределенности проявляется в том, что при наличии неограниченного количества состояний объективных условий оценка вероятности наступления каждого состояния невозможна по различным причинам. В зависимости от причины появления выделяют информационную, количественную, стоимостную, профессиональную, ограничительную неопределенности и неопределенность внешней среды.

Неопределенность может быть устранена частично или полностью, либо приобретением недостающей информации, либо более глубоким изучением уже имеющейся. В теории принятия решений ситуацию неопределенности рекомендовано сводить к ситуации риска, компенсируя недостаток информации субъективными оценками.

Для обоснования решений в условиях неопределенности может использоваться критериальный подход, предложенный теорией статистических решений (раздел математической теории игр, изучающий игры с природой). В рамках этой математической теории рассматриваются условные конфликты сознательного игрока с природой. Под природой понимаются объективные обстоятельства,

внешняя среда; считается, что природа сознательно не противодействует игроку. Характеристику этой конфликтной ситуации дают с помощью показателей результативности применения сознательным игроком определенной стратегии поведения в каждом состоянии природы. Эти показатели результативности (выигрыши) отражаются в матрице игры (табл. 1.2), в которой по строкам указывают стратегии сознательного игрока ($\{A_j\}$, $j = \overline{1, m}$), по столбцам – состояния природы ($\{S_i\}$, $i = \overline{1, n}$); на пересечении соответствующих строк и столбцов проставляется оценка a_{ji} – выигрыш сознательного игрока при использовании им стратегии A_j в состоянии природы S_i .

Таблица 1.2

Матрица игры

$\{A_j\}$	$\{S_i\}$			
	S_1	S_2	...	S_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...
A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}

Для обоснования решений в условиях неопределенности, можно опираться на рекомендации следующих основных критериев, позволяющих неопределенную ситуацию свести к ситуации риска.

1. Критерий Лапласа ($K_{\text{Л}}$).

Данный критерий предполагает равную вероятность состояний внешней среды (вероятности состояний природы p_i равны между собой – $p_1 = p_2 = \dots = p_n = \frac{1}{n}$, $\sum_{i=1}^n p_i = 1$) и рекомендует выбор стратегии с максимальным средним выигрышем:

$$K_{\text{Л}} = \max_{A_j} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ji}.$$

2. Критерий Байеса (K_B).

Этот критерий учитывает разные вероятности состояний природы ($\sum_{i=1}^n p_i = 1$) и рекомендует выбор стратегии с максимальным сред-неожидаемым выигрышем:

$$K_B = \max_{A_j} \sum_{i=1}^n a_{ji} \cdot p_i.$$

3. Критерий Вальда (K_B).

Данный критерий ориентируется на худшее состояние внешней среды и рекомендует выбор стратегии с максимальным гаранти-рованным выигрышем в таких условиях:

$$K_B = \max_{A_j} \min_{S_i} a_{ji}.$$

Критерий Вальда также называют максиминным, критерием крайнего пессимизма или критерием наибольшей осторожности.

4. Критерий Сэвиджа (K_C).

Критерий Сэвиджа (минимаксного риска) ориентируется на са-мую неблагоприятную обстановку и рекомендует выбор стратегии с минимальным риском:

$$K_C = \min_{A_j} \max_{S_i} r_{ji}.$$

Для использования данного критерия необходимо перейти от матрицы выигрышей к матрице рисков.

Риск (r_{ji}) – разность между выигрышем, который игрок получил бы, если бы он знал, что состоянием природы будет состояние S_i , и выигрышем, который игрок получит, не имея этой информации при использовании им стратегии A_j :

$$r_{ji} = \beta_i - a_{ji}, \quad \beta_i = \max_{A_j} a_{ji} \quad (\text{при заданном } S_i).$$

5. Критерий Гурвица (K_{Γ}).

Критерий Гурвица (компромиссный критерий, критерий пессимизма-оптимизма) учитывает индивидуальные предпочтения сознательного игрока. Для его использования необходимо задать значение коэффициента пессимизма α , $\alpha \in [0,1]$:

$$K_{\Gamma} = \max_{A_j} \left[\alpha \cdot \min_{S_i} a_{ji} + (1 - \alpha) \cdot \max_{S_i} a_{ji} \right].$$

Возможны следующие характерные случаи использования критерия Гурвица:

– при $\alpha = 1$ критерий Гурвица совпадает с критерием Вальда (крайнего пессимизма):

$$K_{\Gamma}^1 = \max_{A_j} \min_{S_i} a_{ji};$$

– при $\alpha = 0$ критерий Гурвица совпадает с критерием крайнего оптимизма:

$$K_{\Gamma}^0 = \max_{A_j} \max_{S_i} a_{ji};$$

– при $\alpha = 0,5$ выбирают стратегию с наибольшей полусуммой минимального и максимального выигрыша:

$$K_{\Gamma}^{0,5} = \max_{A_j} \frac{1}{2} \left[\min_{S_i} a_{ji} + \max_{S_i} a_{ji} \right].$$

Тестовые задания

1. Критерии оценки альтернатив

- а) не могут быть зависимыми;
- б) не требуют использования шкал;
- в) характеризуют привлекательность альтернатив для участников процесса принятия решения;
- г) являются возможными вариантами решений.

2. Решения, принимаемые в условиях риска, называются
- а) неопределенными;
 - б) вероятностными;
 - в) оперативными;
 - г) детерминированными.
3. На какой стадии решения проблемы осуществляют сбор и анализ информации?
- а) выявление проблемы;
 - б) постановка задачи;
 - в) поиск решения;
 - г) исполнение решения.
4. Какие из перечисленных этапов реализуются на стадии поиска решения?
- а) сбор и анализ информации;
 - б) выбор метода решения задачи;
 - в) оценка альтернатив;
 - г) определение ограничений.
5. Проблемы, содержащие качественные и количественные элементы, называются
- а) неструктурированными;
 - б) хорошо структурированными;
 - в) качественно выраженными;
 - г) слабоструктурированными.
6. Методы исследования операций используются для решения
- а) неструктурированных задач;
 - б) хорошо структурированных задач;
 - в) качественно выраженных задач;
 - г) слабо структурированных задач.
7. Критичность как требование к критерию эффективности операции заключается в том, что
- а) критерий не должен изменяться при изменении параметров операции;
 - б) критерий должен изменяться при изменении параметров операции;
 - в) критерий должен отражать основную цель операции;
 - г) критерий должен учитывать случайный характер некоторых параметров операции.

8. Для решения неструктуризованных задач используются

- а) методы исследования операций;
- б) методы экспертного анализа;
- в) методы системного анализа;
- г) все указанные методы.

9. Альтернативы, принадлежащие множеству Эджворта-Парето

- а) не находятся в отношении доминирования;
- б) находятся в отношении доминирования;
- в) не превосходят другие альтернативы по критериям;
- г) являются несравнимыми на основе критериальных оценок.

10. Статистический метод анализа риска предполагает

- а) оценку степени чувствительности результативных показателей к изменению исходных условий;
- б) анализ данных по аналогичным операциям;
- в) расчет показателей вариации;
- г) расчет критических точек.

11. Какой из перечисленных критериев принятия решений в условиях неопределенности рекомендует выбор стратегии с максимальным средним выигрышем?

- а) критерий Вальда;
- б) критерий Гурвица;
- в) критерий Лапласа;
- г) критерий Байеса.

12. По критерию Вальда выбирают стратегию

- а) с максимальным среднеожидаемым выигрышем;
- б) с максимальным средним выигрышем;
- в) с минимальным риском в самой неблагоприятной обстановке;
- г) с максимально возможным выигрышем в самой неблагоприятной обстановке.

13. По критерию Байеса выбирают стратегию

- а) с максимальным среднеожидаемым выигрышем;
- б) с минимальным риском в самой неблагоприятной обстановке;
- в) с максимальным средним выигрышем;
- г) с максимально возможным выигрышем в самой неблагоприятной обстановке.

14. По критерию Сэвиджа выбирают стратегию

- а) с максимальным среднеожидаемым выигрышем;
- б) с минимальным риском в самой неблагоприятной обстановке;

- в) с максимальным средним выигрышем;
- г) с максимально возможным выигрышем в самой неблагоприятной обстановке.

15. Какой из перечисленных критериев принятия решений в условиях неопределенности называют компромиссным?

- а) критерий Вальда;
- б) критерий Гурвица;
- в) критерий Лапласа;
- г) критерий Байеса.

Задания для закрепления материала

1. Определить множество компромиссных Парето-оптимальных вариантов проектов строительства терминала для разгрузки танкеров.

Критерии	Варианты очистных сооружений			
	A_1	A_2	A_3	A_4
Пропускная способность, т/день	2600	2000	2000	2500
Затраты на строительство, млрд. д. е.	3,5	2,5	3	4
Срок строительства, мес.	24	30	30	28
Экологическая безопасность	хор.	отл.	хор.	удовл.
Стоимость обработки 1 т нефти, д. е.	4,5	3,5	4,5	5,0

2. Инвестор рассматривает целесообразность инвестирования средств в один из проектов. Первый проект с вероятностью 0,6 обеспечивает прибыль 15 млн. д. е., однако с вероятностью 0,4 можно потерять 5,5 млн. д. е. Для второго проекта с вероятностью 0,8 можно получить прибыль 10 млн. д. е. и с вероятностью 0,2 потерять 6 млн. д. е. Какой проект выберет инвестор?

3. Оценить среднее значение ожидаемой прибыли и степень риска по данным экспертного анализа коммерческих проектов и выбрать менее рискованный проект.

Оценка эксперта	Прогнозная оценка прибыли, тыс. д. е.		Вероятность прогнозной оценки	
	<i>Проект А</i>	<i>Проект В</i>	<i>Проект А</i>	<i>Проект В</i>
Пессимистическая	300	400	0,25	0,30
Наиболее вероятная	550	500	0,50	0,55
Оптимистическая	600	750	0,25	0,15

4. Выбрать рациональный объект инвестирования, который обеспечивает минимальную степень риска при вложении капитала:

Альтернативные объекты инвестирования	Ожидаемая прибыль от реализации проекта, тыс. у. д. е.		Субъективные вероятности получения ожидаемой прибыли	
	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>
<i>A</i>	60	45	0,20	0,25
<i>B</i>	70	35	0,15	0,30
<i>C</i>	65	30	0,10	0,35

5. Фирма выбирает страну в некотором регионе для создания совместного предприятия на основании данных экспертного анализа ожидаемой прибыли (в млн. д. е.).

Оценка прибыли	<i>Страна 1</i>	<i>Страна 2</i>	<i>Страна 3</i>	<i>Страна 4</i>	<i>Страна 5</i>
Пессимистическая	8	5	7	4	5
Оптимистическая	14	12	17	12	13

Определить, в какой стране целесообразнее создать совместное предприятие, если ожидаемая прибыль должна составлять не менее 10 млн. у. д. е. при минимальном риске.

6. Компания – производитель различных продуктов из сыра на экспорт. Один из продуктов (сырная паста) поставляется в страны ближнего зарубежья. Генеральный директор должен решить, сколько ящиков сырной пасты следует производить в течение месяца. Вероятности того, что спрос на сырную пасту в течение месяца будет 6, 7, 8 или 9 ящиков, равны соответственно 0,10; 0,30; 0,45; 0,15. Затраты на производство одного ящика равны 45 д. е. Компания продает каждый ящик по цене 95 д. е. Если ящик с продукцией не продается в течение месяца, то она портится и компания не получает дохода. Сколько ящиков следует производить в течение месяца?

7. Менеджер ресторана, расположенного на одном из тропических островов, заказывает на материке партию мороженого раз в неделю. Многолетний опыт показывает, что возможный объем реализации продукта меняется в диапазоне от 0 до 3 упаковок, в зависимости от погоды. Возможные состояния погоды можно характеризовать терминами «холодно», «прохладно», «тепло» и «жарко», при этом спрос на мороженое равен 0, 1, 2 и 3 упаковок соот-

ответственно. Если продукт не реализован в течение недели, то он подлежит утилизации. Цена продажи каждой упаковки равна 100 д. е., цена закупки – 40 д. е., неудовлетворенный спрос (упущенная выгода) – 50 д. е., цена утилизации – 7 д. е. Определить оптимальный объем закупок, если состояния погоды «холодно», «прохладно», «тепло» и «жарко» реализуются с вероятностями 0,1; 0,3; 0,4 и 0,2 соответственно.

8. Потребление исходного сырья на предприятии в зависимости от его качества составляет 50, 60 или 70 единиц. Если для выпуска запланированного объема продукции сырья окажется недостаточно, запас его можно пополнить, что потребует дополнительных затрат в размере 4 д. е. в расчете на единицу сырья. Если же запас сырья превысит потребности, то дополнительные затраты на содержание и хранение остатка составят 3 д. е. в расчете на единицу сырья. Планирующий орган располагает дополнительной информацией, снижающей неопределенность ситуации: известны вероятности потребности в сырье в количествах 50, 60 и 70 единиц соответственно 0,25; 0,35; 0,4. Какое решение примет планово-экономический отдел по формированию запаса сырья?

2. МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И ПРОЦЕДУРЫ ЭКСПЕРТНОГО АНАЛИЗА

2.1. Краткая характеристика и классификация методов экспертного анализа

Методы экспертного анализа используются для решения неструктурированных задач в тех случаях, когда формализация проблем невозможна в силу их новизны и сложности, или требует больших затрат средств и времени. Общим для всех методов экспертного анализа является обращение к опыту, знаниям и интуиции специалистов, выполняющих функции экспертов. Давая ответы на поставленные вопросы, эксперты являются датчиками информации, которая анализируется и обобщается. Если в диапазоне оценок экспертов имеется истинный ответ, то совокупность разрозненных мнений может быть синтезирована в некоторое обобщенное мнение, близкое к реальности.

Условиями, предопределяющими необходимость применения экспертных процедур, являются:

1) качественный характер исходной информации (отсутствие информации о характеристиках объекта исследования в количественной форме);

2) большая неопределенность исходных данных для проведения анализа проблемы;

3) отсутствие математической формализации предмета оценки;

4) нецелесообразность, недостаток времени и средств для исследования проблемы с применением формальных подходов;

5) отсутствие технических средств для моделирования проблемной ситуации.

Всю совокупность методов экспертного анализа можно разделить:

– методы оценки (безкритериальные и критериальные);

– оценочно-поисковые методы.

В зависимости от числа участвующих в опросе экспертов методы экспертного анализа подразделяются на:

– методы формирования индивидуальных экспертных оценок;

– методы формирования коллективных экспертных оценок.

Любой метод экспертного анализа представляет собой совокупность процедур, направленных на получение информации эвристи-

ческого происхождения и обработку этой информации с помощью математико-статистических приемов.

Процесс подготовки и проведения экспертизы включает следующие этапы:

- 1) определение целей экспертизы;
- 2) формирование группы специалистов-аналитиков;
- 3) формирование группы экспертов;
- 4) разработка сценария и процедур экспертизы;
- 5) сбор экспертной информации;
- 6) обработка экспертной информации;
- 7) анализ результатов экспертизы;
- 8) принятие решения.

При формировании группы экспертов необходимо учитывать их индивидуальные характеристики, которые влияют на качество экспертизы: компетентность, креативность, конструктивность мышления, конформизм, коллективизм, самокритичность, отношение к экспертизе. В зависимости от целей и направленности экспертизы группа экспертов может быть однородной или включать представителей различных групп специалистов. В практике используют следующие подходы к формированию группы экспертов: по формальным критериям; на основе самооценки личности, полученной при анкетировании; на основе оценки лиц, связанных с претендентом; методом случайного отбора.

Результатом экспертизы могут быть прямые оценки явлений для установления прогнозных значений параметров, ранжирования альтернатив (обычно сопровождаемые определением относительных характеристик их важности – весов), позволяющие выполнить отбор нескольких предпочтительных вариантов решения проблемы или осуществить выбор лучшей альтернативы.

2.2. Шкалирование эвристической информации

Процедура шкалирования состоит в преобразовании эвристической информации, получаемой от экспертов в качественной форме, в количественную форму, удобную для обработки и анализа.

Разные способы измерения величин приводят к использованию различных правил приписывания чисел, которые задаются шкалами. Каждая шкала налагает ограничения на возможность получения

информации и на способы математических преобразований, которые могут быть применены к измеряемым данным.

Типы шкал:

1) шкала классификации (шкала наименований, номинальная шкала), позволяющая различать исследуемые объекты с помощью конкретных чисел;

2) шкала порядка, позволяющая упорядочить исследуемые объекты по какому-либо признаку;

3) шкала интервалов, позволяющая приписать исследуемым объектам относительные числовые значения;

4) шкала отношений, позволяющая приписать исследуемым объектам абсолютные числовые значения и устанавливающая равенство отношений.

В табл. 2.1 приведены примеры шкал, используемых в экспертном и системном анализе для преобразования качественной информации в количественную форму.

Таблица 2.1

Примеры шкал для формализации эвристической информации

Шкала лингвистических оценок	Шкала балльных оценок	Вербально-числовая шкала Харрингтона
отлично	5	0,8–1 (0,9)
хорошо	4	0,63–0,8 (0,715)
удовлетворительно	3	0,37–0,63 (0,5)
плохо	2	0,2–0,37 (0,285)
очень плохо	1	0–0,2 (0,1)

2.3. Метод ранга (балльных оценок)

Метод ранга используется для решения задач по упорядочению альтернатив и выбору лучшей альтернативы. Полученное в результате обработки экспертной информации ранжирование альтернатив подкрепляется рассчитанными относительными характеристиками их значимости (весами).

В рамках такой технологии веса альтернатив определяются на основе сведенного в общую матрицу мнения коллектива экспертов, оценивающих важность альтернатив, пользуясь некоторой балльной

шкалой оценок (в экспертизе могут использоваться 5-балльная, 10-балльная, 12-балльная, 100-балльная шкалы).

Пусть имеется m экспертов ($\{\mathcal{E}_j\}, j = \overline{1, m}$) и n альтернатив ($\{A_i\}, i = \overline{1, n}$). Каждый эксперт \mathcal{E}_j оценивает важность каждой альтернативы A_i в баллах по предложенной шкале (ρ_{ji} – балльная оценка j -м экспертом i -й альтернативы). В этих условиях веса альтернатив определяются следующим образом:

- 1) составляется сводная матрица всех оценок экспертов (табл. 2.2);

Таблица 2.2

Матрица оценок экспертов

$\{\mathcal{E}_j\}$	$\{A_i\}$			
	A_1	A_2	...	A_n
\mathcal{E}_1	ρ_{11}	ρ_{12}	...	ρ_{1n}
\mathcal{E}_2	ρ_{21}	ρ_{22}	...	ρ_{2n}
...
\mathcal{E}_m	ρ_{m1}	ρ_{m2}	...	ρ_{mn}

- 2) вычисляются искомые веса альтернатив (ω_i) путем нормирования (нормализации) суммарных баллов каждой альтернативы:

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^m \rho_{ji}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \rho_{ji}}; \quad \sum_{i=1}^n \omega_i = 1.$$

Качество экспертизы по методу ранга оценивается с помощью статистических показателей вариации. В аналитической практике качество экспертизы чаще оценивают с помощью дисперсий:

- 1) дисперсий, характеризующих согласованность экспертов при оценке каждой альтернативы (Dc_i):

$$Dc_i = \frac{\sum_{j=1}^m (\rho_{ji} - \bar{\rho}_i)^2}{m-1},$$

где $\bar{\rho}_i$ – средний балл i -той альтернативы, рассчитываемый по формуле средней арифметической

$$\bar{\rho}_i = \frac{\sum_{j=1}^m \rho_{ji}}{m}.$$

Чем меньше величина дисперсии, тем меньше разброс мнений экспертов, а следовательно, выше степень их согласованности в оценке значимости альтернативы;

2) дисперсий, характеризующих близость суждений каждого отдельного эксперта с коллективным суждением группы экспертов (D_j):

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^n (\rho_{ji} - \bar{\rho}_i)^2}{n-1}.$$

2.4. Метод предпочтений (частных ранжирований)

Метод предпочтений применяется для определения результирующего ранжирования и выбора наилучшей альтернативы. В основе данной процедуры лежит упорядочение каждым экспертом оцениваемых объектов и установление их относительной значимости.

Пусть имеется m экспертов ($\{\mathcal{E}_j\}, j = \overline{1, m}$) и n альтернатив ($\{A_i\}, i = \overline{1, n}$). Каждый эксперт \mathcal{E}_j оценивает важность каждой альтернативы A_i , причем наиболее значимой альтернативе присваивается ранг 1, следующей по значимости – 2 и т. д.

В таких условиях веса альтернатив определяются в четыре этапа:

1) составляется исходная матрица предпочтений экспертов $[K_{ji}]$ с оценками $1 \leq K_{ji} \leq n, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ (K_{ji} – индивидуальный ранг, выставленный j -м экспертом i -й альтернативе);

2) составляется модифицированная матрица предпочтений экспертов $[K'_{ji}], j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ с оценками $K'_{ji} = n - K_{ji}$;

3) находятся суммарные оценки предпочтений по каждой альтернативе K_i :

$$K_i = \sum_{j=1}^m K_{ji}';$$

4) рассчитываются искомые веса альтернатив путем нормирования суммарных оценок:

$$\omega_i = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i}; \quad \sum_{i=1}^n \omega_i = 1.$$

Для оценки согласованности экспертов в методе предпочтений используют коэффициент конкордации (коэффициент Кендалла) – согласованности мнений экспертов по нескольким объектам (факторам), оказывающим влияние на конечный результат.

Для случая несвязанных рангов коэффициент конкордации (W) рассчитывается по формуле

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot n \cdot (n^2 - 1)}, \quad W \in [0; 1].$$

Согласованность считается достигнутой, если значение коэффициента конкордации будет больше 0,5.

Для расчета коэффициента конкордации необходимо определить параметр S следующим образом:

– находится вспомогательная величина (A):

$$A = \frac{m \cdot (n + 1)}{2};$$

– определяются разности значений по каждой альтернативе (R_i):

$$R_i = S_i - A,$$

где S_i – сумма оценок по каждой альтернативе на основе исходной матрицы предпочтений $\left(S_i = \sum_{j=1}^m K_{ji} \right)$;

– находится сумма квадратов разностей S :

$$S = \sum R_i^2.$$

В случае связанности рангов формула для расчета коэффициента конкордации приобретает следующий вид:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot n \cdot (n^2 - 1) - m \cdot \sum_{j=1}^m T_j},$$

где T_j – показатель связанности рангов, определяемый по формуле

$$T_j = \sum_{k=1}^{H_j} (h_k^3 - h_k),$$

где H_j – число групп равных рангов в j -м ранжировании,

h_k – число равных рангов в k -й группе связанных рангов при ранжировании j -м экспертом.

2.5. Методы парных сравнений

При использовании парных сравнений сопоставление альтернатив осуществляется попарно с целью установления наиболее значимой альтернативы в каждой паре. В рамках таких процедур заполняются матрицы парных сравнений (табл. 2.3), в которых все сопоставляемые альтернативы записываются дважды – и по горизонтали, и по вертикали. Каждый эксперт, заполняющий такую матрицу, должен проставить на пересечении соответствующей строки и столбца оценку a_{ik} , ($i, k = \overline{1, n}$) с использованием определенной шкалы. В методах парных сравнений традиционно используют

1) шкалу бинарных оценок:

$$a_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } A_i \text{ предпочтительнее } A_k; \\ 0, & \text{если } A_k \text{ предпочтительнее } A_i. \end{cases}$$

2) трехуровневую шкалу оценок:

$$a_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } A_i \text{ предпочтительнее } A_k; \\ 0,5, & \text{если } A_i \text{ равноценны}; \\ 0, & \text{если } A_k \text{ предпочтительнее } A_i. \end{cases}$$

3) распределение единицы в долях по важности между альтернативами в каждой паре.

Заполнению матриц парных сравнений при использовании любой шкалы свойственна симметричность проставления оценок.

Таблица 2.3

Матрица парных сравнений

\mathcal{A}_j	A_1	A_2	...	A_n
A_1	×	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	×	...	a_{2n}
...
A_n	a_{n1}	a_{n2}	...	×

Если процедура сравнения выполняется несколькими экспертами, то в результате суммирования одноименных элементов частных матриц составляется сводная матрица, отражающая предпочтения всех участвовавших в оценке экспертов.

При использовании методов парных сравнений веса альтернатив определяются в два этапа:

1) определяется цена каждой альтернативы как сумма оценок по соответствующей строке матрицы:

$$c_i = \sum_{k=1}^n a_{ik};$$

2) вычисляются искомые веса альтернатив путем нормирования их цен:

$$\omega_i = \frac{c_i}{\sum_{i=1}^n c_i}, \quad \sum_{i=1}^n \omega_i = 1.$$

Порядок предпочтения альтернатив может быть установлен на основе взвешивания экспертных оценок с учетом компетентности приглашенных экспертов.

Парные сравнения используются в реализации алгоритма Кемени-Снелла и принципа Кондорсе.

Эвристический алгоритм Кемени-Снелла

Алгоритм предназначен для определения результирующего ранжирования альтернатив и не предполагает расчета весовых характеристик сравниваемых объектов. В основе данной процедуры лежат парные сравнения альтернатив, результаты которых отражаются в матрицах бинарных предпочтений.

Для использования этого алгоритма не имеет значения форма представления исходной информации, характеризующей сопоставляемые альтернативы.

Реализация алгоритма предполагает последовательное прохождение четырех этапов.

1. На основе исходной информации о качестве альтернатив определяются матрицы бинарных предпочтений каждого j -го эксперта с оценками ρ_{ik}^j , определяемыми по следующей шкале:

$$\rho_{ik}^j = \begin{cases} +1, & \text{если } A_i \text{ предпочтительнее } A_k; \\ 0, & \text{если } A_i \text{ и } A_k \text{ равноценны}; \\ -1, & \text{если } A_k \text{ предпочтительнее } A_i. \end{cases}$$

$$i, k = \overline{1, n}.$$

2. Определяется матрица потерь с оценками r_{ik} :

$$r_{ik} = \sum_{j=1}^m |\rho_{ik}^j - 1|, \quad i, k = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}.$$

3. Выполняется обработка матрицы потерь в несколько вычислительных циклов. В каждом цикле определяется сумма оценок потерь каждой альтернативы (суммы по строкам матрицы потерь), выделяется альтернатива с минимальной суммой, оценки которой

исключаются из матрицы потерь (т. е. не учитываются в следующем цикле вычислений).

4. Находится результирующее ранжирование альтернатив, определяемое в соответствии с порядком исключения их оценок из матрицы потерь на предыдущем этапе.

Поиск наилучшей альтернативы на основе принципа Кондорсе

Согласно принципу Кондорсе, для определения воли большинства необходимо, чтобы каждый голосующий проранжировал всех кандидатов в порядке их предпочтений (вместо выбора абсолютным большинством).

Для решения многовариантных задач реализацию принципа Кондорсе можно представить как последовательность четырех действий:

1) эксперты осуществляют ранжирование альтернатив, не связывая ранги;

2) по итогам опроса определяются оценки m_{ik} , ($i, k = \overline{1, n}$), характеризующие предпочтения альтернатив в парных сравнениях;

3) выполняются проверки согласно принципу Кондорсе: наилучшей является альтернатива A_i , если для всех случаев выполняется неравенство $m_{ik} \geq m_{ki}$, для всех $i \neq k$;

4) при соблюдении данного принципа выбирается лучшая альтернатива (альтернатива Кондорсе).

2.6. Метод «Дельфи-Конференция»

Метод Дельфи – это заочный и анонимный опрос экспертной группы в несколько туров. Эксперты заполняют опросные листы и в последующих турах опроса до участников экспертизы доводятся результаты предыдущего тура опроса в виде усредненных оценок. На основе полученной информации эксперты могут скорректировать свои оценки в последующих турах.

Экспертиза проводится в несколько туров до тех пор пока не получают приемлемую сходимость суждений экспертов: опрос заканчивается, если 50 %-й диапазон оценок экспертов (между крайними квартилями) сокращается более, чем 1,6 раза по сравнению с таким же диапазоном в предыдущем туре.

В качестве коллективной экспертной оценки принимается медиана вариационного ряда оценок экспертов.

Тестовые задания

1. Укажите условия, предопределяющие необходимость использования методов экспертного анализа:

- а) возможность формализации проблемы;
- б) качественный характер исходной информации;
- в) неопределенность исходной информации;
- г) недостаток средств и времени для исследования с применением формальных моделей.

2. Безкритериальными оценочными методами экспертизы являются:

- а) метод мозгового штурма;
- б) метод балльных оценок;
- в) деловая игра;
- г) метод парных сравнений.

3. Шкала, позволяющая приписать объектам абсолютные числовые значения, называется

- а) шкалой классификации;
- б) шкалой интервалов;
- в) шкалой отношений;
- г) шкалой порядка.

4. Шкала, позволяющая различать объекты с помощью конкретных чисел, называется

- а) шкалой классификации;
- б) шкалой интервалов;
- в) шкалой отношений;
- г) шкалой порядка.

5. Какие шкалы используются в методе ранга?

- а) шкалы классификации;
- б) шкалы интервалов;
- в) шкалы отношений;
- г) шкалы порядка.

6. Для оценки качества экспертизы по методу ранга:

- а) рассчитывают коэффициент конкордации;
- б) рассчитывают показатели вариации балльных оценок альтернатив;

- в) определяют оценки потерь альтернатив в парных сравнениях;
 - г) может использоваться любой из перечисленных подходов.
7. Экспертиза по методу предпочтений основана
- а) на частных ранжированиях экспертов;
 - б) на балльных оценках экспертов;
 - в) на парных сравнениях альтернатив;
 - г) на определении доминируемых альтернатив.
8. Для расчета весов альтернатив при использовании метода предпочтений:
- а) нормируются суммарные исходные оценки экспертов;
 - б) нормируются суммарные модифицированные оценки экспертов;
 - в) нормируются цены альтернатив;
 - г) нормируются суммарные баллы альтернатив.
9. Для оценки качества экспертизы по методу предпочтений:
- а) рассчитывают коэффициент конкордации;
 - б) рассчитывают показатели вариации балльных оценок альтернатив;
 - в) определяют оценки потерь альтернатив в парных сравнениях;
 - г) может использоваться любой из перечисленных подходов.
10. В каких приемах используются процедуры парных сравнений?
- а) в алгоритме Кемени-Снелла;
 - б) в методе балльных оценок;
 - в) в реализации принципа Кордорсе;
 - г) в методе предпочтений.
11. Эвристический алгоритм Кемени-Снелла:
- а) основан на процедурах парных сравнений альтернатив;
 - б) основан на балльных оценках;
 - в) предназначен для расчета весов альтернатив;
 - г) предназначен для получения ранжирования альтернатив.
12. Коллективной экспертной оценкой в методе «Дельфи – конференция» считается:
- а) средняя гармоническая оценка;
 - б) средняя арифметическая оценка;
 - в) мода вариационного ряда оценок экспертов;
 - г) медиана вариационного ряда оценок экспертов.

Задания для закрепления материала

1. Определить результирующее ранжирование факторов, влияющих на рост производительности труда (в экспертизе использован метод ранга с использованием 10-балльной шкалы оценок):

Эксперты	Факторы				
	уровень профессиональной подготовки рабочих	соблюдение технологической дисциплины	материальное стимулирование	маркетинговые исследования	технологическое перевооружение
главный инженер	9	10	8	3	7
главный экономист	8	6	10	4	6
главный технолог	10	7	9	2	8
начальник цеха	8	10	5	2	7

Рассчитать веса факторов, выполнить оценку качества экспертизы.

2. Определить результирующее ранжирование факторов, влияющих на рост производительности труда (в экспертизе использован метод предпочтений):

Эксперты	Факторы				
	уровень профессиональной подготовки рабочих	соблюдение технологической дисциплины	материальное стимулирование	маркетинговые исследования	технологическое перевооружение
главный инженер	2	1	3	5	4
главный экономист	2	3	1	5	4
главный технолог	1	3	2	5	4
начальник цеха	2	1	4	5	3

3. Фирма выделяет денежные средства в объеме 200 тыс. д. е. на повышение эффективности сопровождаемых проектов в области

машиностроения, причем денежные средства распределяются пропорционально относительной важности следующих факторов: F_1 – конкурентоспособность; F_2 – ресурсосбережение; F_3 – экологическая безопасность; F_4 – социальная значимость.

Распределить денежные средства между факторами эффективности, базируясь на методе парных сравнений (шесть специалистов оценивали важность факторов в долях единицы).

\mathcal{E}_1	F	F	F	F	\mathcal{E}_2	F	F	F	F	\mathcal{E}_3	F	F	F	F
F	X	0,6	0,7	0,8	F	X	0,5	0,6	0,9	F	X	0,3	0,6	0,5
F		X	0,5	0,6	F		X	0,6	1	F		X	0,7	0,7
F			X	0,5	F			X	1	F			X	0,5
F				X	F				X	F				X
\mathcal{E}_4	F	F	F	F	\mathcal{E}_5	F	F	F	F	\mathcal{E}_6	F	F	F	F
F	X	0,4	0,7	0,5	F	X	0,4	0,8	0,6	F	X	0,3	0,5	0,7
F		X	0,8	0,9	F		X	0,9	1	F		X	0,6	0,8
F			X	0,7	F			X	0,6	F			X	0,4
F				X	F				X	F				X

4. Для проведения комплексного сравнительного анализа деятельности предприятий отрасли от экспертов получены оценки важности критериев (в экспертизе использован метод предпочтений):

Критерии оценки результатов производства и финансового состояния	Эксперты				
	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5
Запас безубыточности	1	5	1	2	4
Коэффициент ликвидности	2	4	2	3	1
Коэффициент оборачиваемости	3	6	3	5	2
Рентабельность продаж	4	3	4	1	3
Рентабельность капитала	6	7	5	6	5
Коэффициент финансовой независимости	1	2	2	4	6
Доля собственного оборотного капитала в сумме текущих активов	5	1	4	2	2

Определить ранжированный список критериев оценки результатов производственно-финансовой деятельности предприятий, базируясь на процедурах алгоритма Кемени-Снелла.

3. МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И ПРОЦЕДУРЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

3.1. Краткая характеристика методов системного анализа

Методы системного анализа используются для решения слабоструктуризованных задач, причем в процессе обоснования решений степень структуризации проблем повышается. Решаемые задачи являются многовариантными, многокритериальными и содержат элементы риска.

Основное отличие методов системного анализа от методов исследования операций состоит в большем учете качественных суждений участников процесса принятия решений, так как в начале решения не существует объективной математической модели, полностью отражающей свойства и характеристики проблемной ситуации. Системный анализ позволяет рационально использовать субъективные суждения участников процесса принятия решений, поэтому его можно определить как объединение количественных методов оценки и сравнения многокритериальных альтернатив с экспертными процедурами.

Реализация конкретных методов системного анализа предполагает прохождение следующих основных этапов:

- 1) выявление проблемы, определение целей;
- 2) описание проблемной ситуации и внешней среды;
- 3) установление критериев оценки альтернатив;
- 4) идеализация проблемы;
- 5) декомпозиция проблемы;
- 6) композиция проблемы;
- 7) принятие решения (выбор рациональной альтернативы).

3.2. Метод анализа иерархий

Метод анализа иерархий является системной процедурой для иерархического представления элементов, определяющих проблемную ситуацию. Метод разработан американским ученым Т. Саати в 1970 г., активно используется на практике, стал основой множества компьютерных систем поддержки принятия решений (СППР).

Метод анализа иерархий прошел апробацию и доказал свою эффективность на самых разных уровнях управления; позволяет рабо-

тять с неполными и неточными исходными данными, представленными в различной форме – в виде количественных оценок, качественных оценок, оценок типа «да» – «нет», интервальных оценок, результатов ранжирования и др.; постоянно развивается и используется в компьютерных системах поддержки принятия решений различных уровней и назначения. Недостатком данного метода является необходимость получения большего объема информации от аналитиков, экспертов, ЛПР в процессе решения сложной системной задачи.

Основным достоинством метода анализа иерархий является высокая универсальность – метод может применяться для решения самых разнообразных задач:

- планирования и управления (планирование инвестиций, разработка программ развития предприятий, отраслей экономики, территорий и др.);

- проектирования (выбор проектов строительства сооружений различного назначения, вариантов конструкций, модификаций изделий и др.);

- прогнозирования (разработка сценариев развития отраслей экономики, научных направлений и различных систем);

- реинжиниринга бизнес-процессов и организаций;

- принятия компромиссных решений в конфликтных ситуациях.

Метод в наибольшей мере подходит для тех случаев, когда основная часть данных основана на предпочтениях лица, принимающего решение, в процессе выбора наилучшего варианта решения из множества существующих альтернатив.

Метод анализа иерархий основан на структуризации решаемой задачи в виде многоуровневой иерархической модели и состоит в декомпозиции на более простые составляющие и обработке суждений участников принятия решений в рамках парных сравнений объектов.

Технология применения метода анализа иерархий включает пять этапов.

1. Решаемая задача представляется в виде многоуровневой иерархической модели – структурирование проблемы выбора в виде иерархии. В наиболее элементарном виде иерархия строится с вершины (цели), через промежуточные уровни – критерии ($\{K_j\}$, $j = \overline{1, m}$), к самому нижнему уровню, который в общем случае являет-

ся набором альтернатив ($\{A_i\}, i = \overline{1, n}$). Такая иерархия называется **простой доминантной** (рис. 3.1).

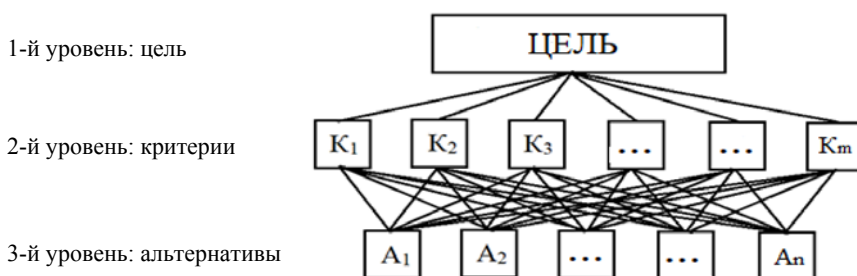


Рис. 3.1. Доминантная иерархия

2. Выполняется попарное сравнение критериев по их важности на основе предварительного ранжирования. Составляется матрица парных сравнений, оценки в которой расставляются по 9-балльной шкале (табл. 3.1) с соблюдением принципа обратной симметричности: интенсивность предпочтения одного объекта над другим будет обратна интенсивности важности другого объекта в этой паре.

Таблица 3.1

Шкала относительной важности

Интенсивность относительной важности	Определение
1	Равная важность сравниваемых объектов
3	Умеренное превосходство одного объекта над другим
5	Существенное превосходство одного объекта над другим
7	Сильное превосходство одного объекта над другим
9	Значительное (абсолютное) превосходство одного объекта над другим
2, 4, 6, 8	Промежуточное решение между двумя соседними суждениями
Обратные величины приведенных выше чисел	Если при сравнении одного объекта с другим получено одно из вышеуказанных чисел (например, 3), то при сравнении второго объекта с первым получаем обратную величину (т. е. 1/3)

Относительная важность любого элемента в сравнении с самой собой равна единице (поэтому главная диагональ матрицы – элементы от левого верхнего угла до нижнего правого – будет содержать только единицы).

Для расчета весов критериев и получения оценок относительной важности альтернатив по результатам парных сравнений Т. Саати разработал 4 вычислительных приближенных алгоритма (методы получения приоритетов объектов сравнения):

1. Суммируются элементы каждой строки матрицы; полученные значения нормируются – сумма каждой строки делится на общую сумму.

2. Элементы столбцов суммируются; для каждой суммы находится обратное значение; полученные значения нормируются.

3. Каждый элемент столбца матрицы парных сравнений нормируется относительно суммы элементов по столбцу; нормированные элементы строк суммируются; полученные значения усредняются – делятся на количество элементов (критериев или альтернатив).

4. Для каждой строки находится средняя геометрическая величина; полученные значения нормируются.

Указанные алгоритмы обеспечивают достаточную для практики точность, причем они расположены в порядке возрастания точности – наилучшее приближение дает применение четвертого алгоритма. Точное решение получается путем возведения матрицы в произвольно большие степени и деления суммы каждой строки на общую сумму элементов матрицы.

На данном этапе необходимо выполнить оценку согласованности при заполнении матрицы парных сравнений. Относительная оценка степени согласованности (d) при заполнении матрицы парных сравнения производится по формуле

$$d = \frac{(B-m)/(m-1)}{C} \times 100 \%,$$

где B – расчетная величина, получаемая следующим образом: суммируются оценки по каждому столбцу матрицы, затем сумма каждого столбца умножается на вес соответствующего объекта, после этого полученные взвешенные значения суммируются;

m – количество сравниваемых объектов (размер матрицы);

C – показатель случайной согласованности, определяемый теоретически для случая, когда оценки в матрице представлены случайным образом и зависящий только от размера матрицы (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Значение показателя случайной согласованности

Размер матрицы (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Показатель случайной согласованности (C)	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Рассчитанное значение относительной оценки согласованности должно находиться в диапазоне от 10 до 20 %. Если $d \leq 20\%$, то достигнута приемлемая степень согласованности при заполнении матрицы парных сравнений. В противном случае необходимо пересмотреть исходные данные и заново заполнить матрицу парных сравнений.

3. Выполняется попарное сравнение альтернатив по их предпочтительности по каждому критерию: составляются матрицы парных сравнений альтернатив с использованием 9-балльной шкалы оценок, учитывая обратную симметричность выставления оценок; на основании заполненных матриц вычисляются оценки приоритетов альтернатив по каждому из критериев по одному из вычислительных алгоритмов аналогично тому, как это делалось для критериев на втором этапе.

4. Определяются обобщенные скалярные оценки альтернатив, рассчитываемые как средневзвешенные приоритеты: для каждой альтернативы определяются суммы произведений оценок, полученных в парных сравнениях, и весов соответствующих критериев.

5. Выбирается рациональная альтернатива по критерию максимума обобщенной скалярной оценки.

3.3. Модифицированный алгоритм Кемени-Снелла

Модифицированный алгоритм Кемени-Снелла используется для получения результирующего ранжирования многокритериальных

альтернатив. Для использования алгоритма необходимо выполнить следующие условия:

1) должна быть известна информация о качестве конкурирующих альтернатив по каждому частному критерию (оценки альтернатив могут быть представлены в любой форме);

2) должны быть известны веса частных критериев, используемых для оценки альтернатив (весовые характеристики могут быть определены любыми методами экспертного анализа на основе системы предпочтений участников процесса принятия решений на множестве частных критериев).

Технология применения данного алгоритма строится на основе попарных сравнений альтернатив с использованием шкалы, предложенной в базовом варианте алгоритма.

Реализация алгоритма предполагает последовательное выполнение шести этапов.

1. На основе исходной информации о качестве альтернатив ($\{A_i\}$, $i = \overline{1, n}$) определяются матрицы бинарных предпочтений альтернатив по каждому частному критерию ($\{K_j\}$, $j = \overline{1, m}$), с оценками ρ_{ik}^j , определяемыми по следующей шкале:

$$\rho_{ik}^j = \begin{cases} +1, & \text{если } A_i \text{ предпочтительнее } A_k; \\ 0, & \text{если } A_i \text{ и } A_k \text{ равноценны}; \\ -1, & \text{если } A_k \text{ предпочтительнее } A_i. \end{cases}$$

$$i, k = \overline{1, n}.$$

2. На основе заполненных матриц бинарных предпочтений определяется матрица потерь с оценками r_{ik} :

$$r_{ik} = \sum_{j=1}^m |\rho_{ik}^j - 1| \cdot \omega_j, \quad i, k = \overline{1, n}, \quad \sum_{j=1}^m \omega_j = 1,$$

где ω_j – вес соответствующего критерия.

3. Выполняется обработка матрицы потерь в несколько вычислительных циклов. В каждом цикле определяются суммы оценок по

ть каждой альтернативы (по строкам матрицы потерь), находится альтернатива с минимальной суммой, оценки которой исключаются из матрицы потерь.

4. Определяется предварительное ранжирование альтернатив, которое формируется в соответствии с порядком исключения оценок альтернатив на предыдущем этапе.

5. В полученном предварительном ранжировании, начиная с конца списка, последовательно рассматриваются пары альтернатив, и в каждой паре выполняется сравнение их оценок потерь:

- если $r_{ik} \leq r_{ki}$, то альтернативы A_i и A_k остаются на своих местах;
- если $r_{ik} > r_{ki}$, то альтернативы A_i и A_k меняются местами.

6. Находится результирующее ранжирование альтернатив с учетом выполненных перестановок на пятом этапе.

3.4. Метод комплексной оценки структур

Метод комплексной оценки структур ориентирован на решение сложных системных задач векторной оптимизации в условиях неопределенности. Этот метод был разработан для решения технических задач, но со временем была подтверждена эффективность его применения в управлении ресурсами, проектами, стратегическом планировании, анализе бизнес-процессов.

Метод комплексной оценки структур базируется на методологии системного анализа и представляет собой многошаговую итеративный процесс, который не поддается полной математической формализации, представляя собой цепь эвристических и формальных процедур. Сочетание эвристики и формализма образует системный подход, дисциплинирующий мышление ЛПР в задачах выбора рациональных решений в условиях многовариантности, многокритериальности, неопределенности и риска.

Практическое применение метода комплексной оценки структур предполагает решение следующих задач:

- определение множества конкурирующих структур (альтернатив), исходя из целей и функций системы;
- определение множества частных критериев для оценки качества конкурирующих структур (альтернатив);
- построение моделей и отображение конкурирующих структур (альтернатив) в матрицу векторных оценок по критериям;

- обоснование принципа оптимальности и свертка векторных оценок структур (альтернатив) в обобщенные скалярные оценки;
- анализ конкурирующих структур в диапазоне условий (при различных воздействиях внешней среды);
- разработка решающего правила и выбор на его основе рациональной структуры (альтернативы).

Обязательным условием применения метода является представление векторных оценок альтернатив в количественной форме.

Использование метода предполагает выполнение 11 этапов.

1. Определение множества конкурирующих структур ($\{S_i\}, i = \overline{1, n}$).
2. Определение множества частных критериев, используемых для сравнительной оценки конкурирующих структур ($\{K_j\}, j = \overline{1, m}$), выявление системы предпочтений экспертов и ЛПР на множестве критериев.
3. Построение матрицы «Критерии–Структуры» в диапазоне условий. На этом этапе конкурирующие структуры отображаются в матрицу векторных оценок по критериям для каждого состояния внешней среды.
4. Определение весов частных критериев (v_j) на основе установленной системы предпочтений на множестве критериев любым экспертным методом $\left(\sum_{j=1}^m v_j = 1 \right)$.
5. Определение весов частных критериев (v'_j), исходя из разброса векторных оценок структур. Веса определяются путем нормирования относительных линейных отклонений векторных оценок конкурирующих структур от средней оценки по каждому критерию в заданном состоянии внешней среды:

$$v'_j = \frac{r_j}{\sum_{j=1}^m r_j}, \sum_{j=1}^m v'_j = 1,$$

где r_j – относительное линейное отклонение векторных оценок структур от среднего значения по j -му критерию в заданных условиях.

Для расчета r_j используют формулу

$$r_j = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |k_{ji} - \overline{k_j}|}{\overline{k_j}},$$

где k_{ji} – векторные оценки структур по j -му критерию в заданных условиях;

$\overline{k_j}$ – средняя оценка структур по j -му критерию в заданных условиях

$$\overline{k_j} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{ji}}{n}.$$

6. Расчет усредненных весов частных критериев (ω_j). Для каждого состояния внешней среды определяются средние арифметические значения весовых характеристик критериев, полученных на четвертом и пятом этапах:

$$\omega_j = \frac{v_j + v'_j}{2}, \quad \sum_{j=1}^m \omega_j = 1.$$

7. Определение безразмерных векторных оценок структур (a_{ji} , $j = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, n}$). Во избежание разной размерности оценок по критериям их необходимо привести к единому (универсальному) виду, заключив в диапазон от 0 до 1. Для этого текущие оценки альтернатив (k_{ji}) делят на соответствующие кванты, в качестве которых могут использоваться «идеальные» (максимальные) значения оценок по соответствующим критериям для каждого состояния внешней среды.

8. Определение безразмерных взвешенных векторных оценок структур (x_{ji}). Для учета значимости критериев в заданных условиях безразмерные оценки структур, полученные на седьмом этапе,

умножаются на веса соответствующих критериев, рассчитанные на шестом этапе:

$$x_{ji} = a_{ji} \cdot \omega_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad i = \overline{1, n}.$$

9. Расчет обобщенных скалярных оценок конкурирующих структур (q_i). Для каждого состояния внешней среды свертка безразмерных взвешенных векторных оценок структур в обобщенную производится следующим образом: из суммы взвешенных безразмерных оценок по критериям, имеющим направление оптимизации максимум, нужно вычесть сумму взвешенных безразмерных оценок по критериям с обратным направлением оптимизации (минимум):

$$q_i = \sum_{j \in K^{\max}} x_{ji} - \sum_{j \in K^{\min}} x_{ji},$$

где K^{\max} – подмножество частных критериев, имеющих направление оптимизации максимум;

K^{\min} – подмножество частных критериев, имеющих направление оптимизации минимум.

По принципу максимума обобщенной скалярной оценки осуществляется выбор рациональной структуры для заданного состояния внешней среды.

Важно отметить, что этапы с пятого по девятый реализуются для каждого состояния внешней среды.

10. Определение матрицы «Структуры–Условия». Обобщенные скалярные оценки конкурирующих структур, рассчитанные для каждого состояния внешней среды, отображаются в сводную матрицу.

11. Оценка эффективности конкурирующих структур в диапазоне условий. Для получения итоговых оценок необходимо информация о вероятностях состояний внешней среды, которая используется для взвешивания обобщенных скалярных оценок структур в каждом из состояний. Полученные итоговые суммы позволяют определить результирующее ранжирование структур и осуществить выбор рациональной структуры по критерию максимума итоговой оценки эффективности.

3.5. Методика сравнительной оценки двух альтернатив по степени доминирования

Методика служит для выбора рациональной альтернативы из двух конкурирующих на основе матрицы векторных оценок альтернатив, причем обязательным условием применения данного подхода является представление оценок альтернатив в количественной форме. Если необходимо шкалирование качественной информации, то для перехода к количественным оценкам используется вербально-числовая шкала Харрингтона (если критерий предполагает бинарность в оценке, то для перехода используют средний интервал шкалы Харрингтона).

Основной принцип использования данной методики заключается в следующем: для каждой из двух сравниваемых альтернатив находится обобщенная оценка по всем тем критериям, по которым она превосходит другую альтернативу (если по какому-либо критерию альтернативы имеют одинаковые оценки, то при проведении сравнения альтернатив этот критерий не учитывается).

При подсчете оценок учитывается степень превосходства и важность оценки по каждому критерию. В качестве рациональной рекомендуется выбор альтернативы с большей обобщенной оценкой.

Реализация методики включает выполнение следующих операций:

1. Конкурирующие альтернативы получают условные названия «базовая» и «новая»: $\{A_i\} = \{A_1; A_2\}$, $i = \overline{1, n}$, ($n = 2$); A_1 – «базовая», A_2 – «новая».

2. Методом экспертных оценок выполняется ранжирование частных критериев по их важности, после чего осуществляется переход от индивидуальных рангов (R_j) к весам критериев (v_j): из всех рангов выбирают максимальное значение (R_{\max}), указывающее на последнее место в ранжировании, к которому прибавляют единицу, а после исключают ранг каждого критерия:

$$v_j = R_{\max} + 1 - R_j.$$

Таким образом, в качестве весов критериев будут использоваться числа натурального ряда, причем наименее значимый критерий получает вес, равный 1, более значимый – 2 и т. д.

3. По каждому частному критерию определяется степень доминирования одной альтернативы над другой: большая из двух векторных оценок делится на меньшую и рядом проставляется индикатор (\uparrow – если «новая» альтернатива лучше «базовой», \downarrow – если «базовая» альтернатива лучше «новой»).

4. Находятся скорректированные оценки степени доминирования альтернатив друг над другом путем возведения оценок, полученных на предыдущем шаге, в степень, соответствующую весу критерия. Таким образом учитывается важность критериев: чем больше вес критерия, тем больше соответствующая степень доминирования будет влиять на окончательную оценку.

5. Для каждой альтернативы определяется обобщенная оценка степени ее доминирования над другой, вычисляемая как произведение соответствующих скорректированных оценок по всем критериям, по которым данная альтернатива лучше другой.

6. Исходя из обобщенных оценок, выбирается рациональная альтернатива по результату расчета отношения:

$$D = \frac{D_n}{D_b},$$

где D_n и D_b – обобщенные оценки степени доминирования соответственно «новой» альтернативы над «базовой» и «базовой» альтернативы над «новой».

Если $D > 1$, то «новая» альтернатива (оценка которой указана в числителе) доминирует над «базовой» и является рациональной; если же $D < 1$, то «базовая» альтернатива превосходит «новую» и рекомендуется в качестве рациональной.

3.6. Метод ELECTRE

Французская школа принятия решений предложила конструктивистский подход, в рамках которого формальные методы и математические модели рассматриваются как вспомогательные средства для практического анализа проблемных ситуаций, предполагающих проведение многомерного сравнения альтернатив. Отражением этого подхода явилось целое семейство методов ELECTRE (исключение и выбор, отражающие реальность), предназначенных для реше-

ния слабоструктуризованных задач. Эти методы нацелены на определение ядра альтернатив в виде подмножества рациональных решений, причем величиной этого подмножества можно управлять в зависимости от практической необходимости.

Для выделения ядра доминирующих альтернатив рассчитываются индексы согласия и несогласия на основании количественных оценок важности критериев и векторных оценок альтернатив. Обязательным условием является измерение важности критериев в долях единицы (на основе системы предпочтений участников процесса принятия решения на множестве частных критериев веса рассчитываются любым известным методом экспертного анализа). Также количественные оценки альтернатив по каждому частному критерию должны быть представлены в безразмерном виде в диапазоне от нуля до единицы (для шкалирования качественных оценок используют вербально-числовую шкалу Харрингтона, а для количественных оценок переход к безразмерным осуществляют с помощью квант). Важным достоинством методов является поэтапность выявления предпочтений ЛПР в процессе выявления пороговых уровней согласия и несогласия при изучении ядер альтернатив.

Реализация метода ELECTRE включает в себя выполнение следующих этапов:

1. Определение множества конкурирующих альтернатив: $\{A_i\}$, $i = \overline{1, n}$.

2. Определение множества частных критериев: $\{K_j\}$, $j = \overline{1, m}$.

3. Расчет весов частных критериев (ω_j) на основе системы предпочтений ЛПР методом экспертного анализа: $\sum_{j=1}^m \omega_j = 1$.

4. Отражение альтернатив в матрицу безразмерных векторных оценок.

5. Расчет индексов согласия по каждой альтернативе (c_{ik}), характеризующих степень согласия в отношении превосходства альтернатив в парных сравнениях:

$$c_{ik} = \sum_{j \in K^+} \omega_j, \quad 0 \leq c_{ik} \leq 1, \quad i, k = \overline{1, n},$$

где K^+ – подмножество частных критериев, для которых есть превосходство или, по крайней мере, равенство в парных сравнениях альтернатив.

Рассчитанные индексы согласия сводятся в матрицу.

6. Расчет индексов несогласия по каждой альтернативе (d_{ik}), характеризующих степень несогласия в отношении превосходства альтернатив в парных сравнениях:

$$d_{ik} = \max_{j \in K^-} \{ |\rho_{ik} - \rho_{ki}| \}, \quad 0 \leq d_{ik} \leq 1, \quad i, k = \overline{1, n},$$

где K^- – подмножество частных критериев, для которых нет превосходства альтернатив в парных сравнениях;

ρ_{ik} – безразмерные векторные оценки альтернатив.

Рассчитанные индексы несогласия сводятся в матрицу.

7. Выделение подмножества рациональных решений в результате последовательной проверки следующих условий:

$$\begin{cases} \min c_{ik} > c^* \\ \max d_{ik} < d^* \end{cases}$$

где c^* и d^* – пороговые значения соответственно индексов согласия и несогласия.

Таким образом, из множества альтернатив удаляются доминируемые, а оставшиеся образуют первое ядро, включающее лучшие альтернативы.

8. Задание более «строгих» пороговых значений индексов ($c_{ik} \rightarrow 1$, $d_{ik} \rightarrow 0$) и проверка выполнения условий для формирования последующих ядер.

9. Получение последнего ядра альтернатив и выбор рациональной альтернативы.

3.7. Метод функционально-стоимостного анализа

Цель функционально-стоимостного анализа заключается в выборе оптимального варианта, обеспечивающего полноценное выполнение исследуемым объектом своих основных функций при минимальных затратах.

Изучение возможности сокращения стоимости выполняемых объектами функций в отечественной науке закрепилось в методе функционально-стоимостного анализа, в зарубежной практике этот метод носит название «анализ стоимости», «инженерно-стоимостной анализ», «управленческо-стоимостной анализ».

Метод функционально-стоимостного анализа – это метод системного исследования функций отдельных изделий, процессов, управленческих структур, направленных на минимизацию затрат при проектировании, освоении и организации производства, сбыта и сохранения высокого качества результата предельной полезности и долговечности.

Функционально-стоимостной анализ позволяет найти или максимально приблизиться к оптимальному соотношению между эффективностью и затратами. Очевидно, что объектами этого метода являются функции и их стоимость.

В рамках функционально-стоимостного анализа проводится детализация изучаемых функций на основе их классификации по различным критериям – сфере применения, роли удовлетворения потребностей, степени необходимости и др. Наибольшее распространение в аналитической практике получила группировка по принципу Эйзенхауэра, получившего название «принцип ABC», в соответствии с которым все функции подразделяются на главные, основные и полезные (A); второстепенные, вспомогательные и полезные (B); второстепенные, вспомогательные и не приносящие пользы (C).

В проведении функционально-стоимостного анализа можно выделить четыре стадии:

- 1) подготовительную (определение объектов анализа, разработка форм проведения исследования);
- 2) аналитическую (сбор и систематизация информации о функциональной структуре объектов,);
- 3) творческую (разработка альтернативных вариантов выполнения объектами функций и оценка затрат);
- 4) контрольную (проведение сравнительной оценки альтернативных вариантов и выбор оптимального).

В конечном итоге метод функционально-стоимостного анализа предусматривает двухкритериальную оценку альтернатив и включает пять основных операций.

1. Построение модели эффективности:

$$\mathcal{E} = f(x).$$

В качестве критерия эффективности могут выступать технические, технико-экономические, экономические показатели, характеризующие полезный результат принятия решения.

2. Построение модели стоимости:

$$C = f(x).$$

В качестве критерия стоимости могут выступать абсолютные и относительные показатели затрат на реализацию решения.

3. Формирование альтернативных вариантов решения проблемы ($\{A_i\}$, $i = \overline{1, n}$) и их характеристика по критериям эффективности и стоимости ($\{\mathcal{E}_i\}$, $\{C_i\}$, $i = \overline{1, n}$).

4. Построение обобщающего критерия.

Выходные данные моделей эффективности и стоимости синтезируются в обобщающий критерий, позволяющий проводить сравнительный анализ альтернатив:

$$E = f(\mathcal{E}; C).$$

Обобщающий критерий может быть построен в различных формах:

– максимум эффективности при фиксированной стоимости ($E = \max \{\mathcal{E}_i\}$ при $C_i \leq \text{const}$);

– минимум стоимости при заданной эффективности ($E = \min \{C_i\}$ при $\mathcal{E}_i \geq \text{const}$);

– максимум удельной эффективности ($E = \max \left\{ \frac{\mathcal{E}_i}{C_i} \right\}$);

– минимум удельной стоимости ($E = \min \left\{ \frac{C_i}{\mathcal{E}_i} \right\}$).

5. Выделение рациональной альтернативы (A_{rat}) на основе оценок вариантов решения по обобщающему критерию, выбор которого осуществляется с учетом системы предпочтений ЛПР.

Схема проведения функционально-стоимостного анализа представлена на рис. 3.2.

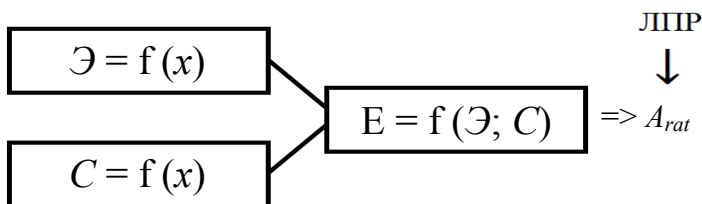


Рис. 3.2. Выбор рациональной альтернативы на основе метода функционально-стоимостного анализа

Функционально-стоимостной анализ имеет значительные преимущества по сравнению с традиционными методами анализа, поскольку позволяет получить точные данные о затратах, связанных с реализацией управленческих решений, и повысить эффективность управления в целом. Однако, несмотря на преимущества, он имеет и определенные недостатки: сложность модели по причине слишком детального описания функций; быстрое старение модели; потребность в специальном программном обеспечении для качественного проведения расчетов.

Тестовые задания

1. Методы системного анализа используются для решения
 - а) неструктуризованных проблем;
 - б) слабоструктуризованных проблем;
 - в) хорошо структуризованных проблем;
 - г) качественно выраженных проблем.
2. Трехуровневая иерархия (цель – критерии – альтернативы) в методе анализа иерархий называется
 - а) согласованной;
 - б) сложной;
 - в) доминантной;
 - г) простой.
3. В каких приемах системного анализа используются процедуры парных сравнений?
 - а) в методе анализа иерархий;
 - б) в методе функционально-стоимостного анализа;

в) в методике сравнительной оценки альтернатив по степени доминирования;

г) в модифицированном алгоритме Кемени-Снелла.

4. Свойством обратной симметричности обладают оценки в матрицах парных сравнений в методе

а) ELECTRE;

б) функционально-стоимостного анализа;

в) комплексной оценки структур;

г) анализа иерархий.

5. Модифицированный алгоритм Кемени-Снелла

а) является приемом экспертного анализа;

б) основан на использовании критериев выбора решений в условиях неопределенности;

в) предназначен для получения результирующего ранжирования многокритериальных альтернатив;

г) является приемом системного анализа.

6. В методе комплексной оценки структур

а) возможна оценка эффективности конкурирующих альтернатив в диапазоне условий;

б) реализуются процедуры парных сравнений альтернатив;

в) вычисляются оценки степени доминирования альтернатив;

г) используются процедуры скаляризации векторных оценок альтернатив.

7. Для реализации процедуры скаляризации векторных оценок в методе комплексной оценки структур необходимо

а) оценить альтернативы по критериям «Эффективность» и «Стоимость»;

б) определить безразмерные взвешенные векторные оценки альтернатив;

в) заполнить матрицы бинарных предпочтений альтернатив по критериям;

г) определить степень доминирования альтернатив над другими.

8. В методике сравнительной оценки альтернатив по степени доминирования

а) не учитывается важность критериев оценки качества альтернатив;

б) в качестве весов критериев используются числа натурального ряда;

в) векторные оценки альтернатив должны приводиться в количественную форму;

г) используется процедура скаляризации векторных оценок альтернатив.

9. Расчет индексов согласия в методе ELECTRE производится на основе

а) весов критериев, для которых нет превосходства альтернатив в парных сравнениях;

б) разностей векторных оценок по критериям, для которых нет превосходства альтернатив в парных сравнениях;

в) весов критериев, для которых есть превосходство или равенство альтернатив в парных сравнениях;

г) разностей векторных оценок по критериям, для которых есть превосходство или равенство альтернатив в парных сравнениях.

10. Расчет индексов несогласия в методе ELECTRE производится на основе

а) весов критериев, для которых нет превосходства альтернатив в парных сравнениях;

б) разностей векторных оценок по критериям, для которых нет превосходства альтернатив в парных сравнениях;

в) весов критериев, для которых есть превосходство или равенство альтернатив в парных сравнениях;

г) разностей векторных оценок по критериям, для которых есть превосходство или равенство альтернатив в парных сравнениях.

11. Метод функционально-стоимостного анализа

а) является методом экспертного анализа;

б) является методом системного анализа;

в) является методом исследования операций;

г) предусматривает двухкритериальную оценку альтернатив.

12. Укажите возможные варианты обобщающего критерия в методе функционально-стоимостного анализа

а) минимум стоимости;

б) максимум эффективности при фиксированной стоимости;

в) максимум удельной стоимости;

г) минимум удельной стоимости.

Задания для закрепления материала

1. В рамках реализации программы технического перевооружения предприятие предполагает приобрести новые станки. Характеристики станков, из которых делается выбор, следующие:

Критерии	Типы станков			
	A_1	A_2	A_3	A_4
Производительность, шт./ч	25	25	30	15
Стоимость станка, тыс. у.д. е.	14	10	20	10
Надежность	Достаточно высокая	Средняя	Очень высокая	Достаточно высокая (немного ниже, чем у A_1)

По мнению экспертов, оценивающих важность критериев, основной критерий – «Производительность», немного менее важный – «Надежность», наименее значимый – «Стоимость станка». Осуществить выбор рационального типа станка. Для обоснования решения использовать метод анализа иерархий.

2. Предлагаются пять вариантов площадки под строительство нового предприятия. Получить ранжированный список вариантов, используя модифицированный алгоритм Кемени–Снелла, в следующих условиях:

Критерии	Площадки				
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Уровень развития дорожной сети	средняя	плохая	развитая	развитая (немного лучше, чем для A_3)	средняя
Энергоснабжение	хорошее	хорошее	плохое	среднее	очень хорошее
Затраты на подготовку к строительству, млн. у. д. е.	3,5	2,5	3,0	3,5	3,0

По мнению экспертов, оценивающих важность критериев, наиболее важным критерием является критерий «Затраты на подготовку к строительству», менее важны (и одинаково важны между собой) – критерии «Уровень развития дорожной сети» и «Энергоснабжение».

3. Выполнить оценку 3 альтернативных проектов строительства промышленного предприятия на основе метода комплексной оценки структур и выбрать рациональный проект:

Критерии	Варианты проектов		
	A	B	C
Инвестиционные затраты, тыс. у. д. е.	220	360	400
Годовая прибыль, тыс. у. д. е.	95	110	155
Снижение энергоемкости продукции, %	15	22	18
Затраты на подготовку персонала, тыс. у. д. е.	2,5	3,1	3,5

По мнению экспертов, оценивающих важность критериев, наиболее важным критерием является критерий «Годовая прибыль», менее важными и равными между собой являются критерии «Инвестиционные затраты» и «Снижение энергоемкости продукции», наименее важным – критерий «Затраты на подготовку персонала».

4. Используя методику сравнительной оценки альтернатив по степени доминирования, выбрать рационального поставщика для промышленного предприятия:

Критерии	Поставщики	
	A ₁	A ₂
Содержание металла в руде, %	12	15
Стоимость сырья, у. д. е./т	200	220
Надежность поставок	высокая	достаточно высокая
Качество сырья	хорошее	отличное

Важность критериев оценивается экспертами следующим образом: наиболее важный критерий – «Содержание металла в руде», менее важны (и одинаково важны между собой) – критерии «Стоимость сырья» и «Качество сырья», наименее важный – критерий «Надежность поставок».

5. Предприятию требуется приобрести датчики для использования в составе автоматизированной системы управления технологическим процессом механообработки. Имеется возможность приобрести датчики одного из четырех типов. Характеристики датчиков приведены в таблице:

Критерии	Типы датчиков			
	A_1	A_2	A_3	A_4
Стоимость, у. д. е.	1600	2000	6000	2100
Наработка на отказ, ч	3200	4000	6500	5000
Условия технического обслуживания	удовл.	отл.	отл.	хор.
Точность, количество отсчетов	3600	5000	5000	5000

Имеются суждения специалистов предприятия в отношении важности критериев: наиболее важный критерий – «Стоимость», следующие по важности (и одинаково важные между собой) – «Наработка на отказ» и «Точность», наименее важный критерий – «Условия технического обслуживания». Для обоснования решения по выбору типа датчиков использовать метод ELECTRE.

6. Осуществить выбор рационального проекта промышленного предприятия на основе метода функционально-стоимостного анализа по критерию минимума удельной стоимости:

Спрос на продукцию	Низкий (вероятность – 0,1)			Средний (вероятность – 0,5)			Высокий (вероятность – 0,4)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Варианты проектов									
Прибыль от реализации проекта, млн. у. д. е.	55	40	40	60	70	75	65	80	95
Затраты на реализацию проекта, млн. у. д. е.	30	40	60	30	40	60	30	40	60

ЛИТЕРАТУРА

1. Бусов, В. И. Управленческие решения : учебник / В. И. Бусов. – М.: Юрайт, 2015. – 256 с.
2. Волкова, В. Н. Теория систем и системный анализ : учебник / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – М.: Юрайт, 2015. – 462 с.
3. Гармаш, А. Н. Экономико-математические методы и прикладные модели : учебник / А. Н. Гармаш, И. В. Орлова, В. В. Федосеев. – М.: Юрайт, 2015. – 336 с.
4. Демин, Г. А. Методы принятия управленческих решений : учеб. пособие / Г. А. Демин. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2019. – 88 с.
5. Зайцев, В. Г. Методы оптимизации управления и принятия решений: примеры, задачи, кейсы : учеб. пособие / М. Г. Зайцев, С. Е. Варюхин. – М.: Дело, 2008. – 664 с.
6. О'Коннор, Дж. Искусство системного мышления. Необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем / Дж. О'Коннор, И. Макдермотт. – М.: Альпина Паблишерз, 2014. – 256 с.
7. Орлов, А. И. Организационно-экономическое моделирование : теория принятия решений / А. И. Орлов. – М.: КноРус, 2011. – 568 с.
8. Орлов, А. И. Организационно-экономическое моделирование: учебник : в 3 ч. / А. И. Орлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – Ч. 2: Экспертные оценки. – 2011. – 486 с.
9. Петровский, А. Б. Теория принятия решений: учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. Б. Петровский. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 400 с.
10. Системы поддержки принятия решений: учебник и практикум / В. Г. Халин [и др.]. – М.: Юрайт, 2015. – 496 с.
11. Федотов, И. В. Методы и модели оптимизации управленческих решений : учеб. пособие / И. В. Федотов, А. Р. Урубков. – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2014. – 240 с.
12. Шеметов, П. В. Управленческие решения: технология, методы и инструменты : учеб. пособие / П. В. Шеметов. – М.: Омега-Л, 2013. – 398 с.
13. Юкаева, В. С. Принятие управленческих решений : учебник / В. С. Юкаева, Е. В. Зубарева, В. В. Чувикина. – М.: Дашков и К, 2012. – 324 с.

Учебное издание

ЛАПЧЕНКО Дарья Александровна

ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности
1-27 01 01 «Экономика и организация производства
(по направлениям)»

Редактор *Е. О. Германович*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 04.01.2021. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,66. Уч.-изд. л. 2,86. Тираж 100. Заказ 612.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.